AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MODELO IFC AO LICENCIAMENTO AUTOMÁTICO DE PROJECTOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO PREDIAL DE ÁGUA

ANDRÉ GIESTAS CANCELA MONTEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor João Poças Martins

JULHO DE 2010

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor João Poças Martins, cujo conhecimento me ajudou a compreender um mundo antes desconhecido e cujo entusiasmo me motivou a ir sempre um pouco mais além.

A todos, os que directa ou indirectamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

RESUMO

As crescentes exigências a nível da complexidade e qualidade dos projectos na construção, bem como da produtividade dos processos, sugerem uma necessidade em alterar a actual abordagem dada ao processo construtivo.

Os *Building Information Models* (BIM) ou modelos de informação apresentam-se como uma forma de integrar num modelo, grande parte da informação referente ao ciclo de vida de um edifício. Os resultados práticos da utilização dos BIM, tendo em conta o actual nível de utilização dado a estas tecnologias, passam pela automatização dos processos de medição, criação de vistas e identificação de erros e omissões no projecto. Em termos teóricos, as aplicações dos modelos de informação multiplicam-se.

A extensão da utilização dos BIM a todas as fases do processo construtivo é apontada como a melhor forma de retirar mais benefícios da utilização destas tecnologias. Para tal, utilizar um modelo completo que preencha os requisitos fundamentais para representação de toda a informação necessária associada às diferentes especialidades da construção, seria a opção ideal. Na prática, verifica-se que o desenvolvimento de um modelo deste tipo é, pelo menos para já, demasiado complicado devido não só ao tamanho e complexidade, mas também ao suporte e actualização. Assim, a solução passa por adoptar não um, mas uma série de modelos parciais, cada um focado na sua especialidade. Deste modo, para manter a integridade e a fluidez dos fluxos de informação, seria necessário trocar informação entre os diferentes sistemas, o que sugere um obstáculo, pelo facto de se verificar uma falta de normas e formatos para trocas de dados, resultando nos problemas de interoperabilidade.

O *Industry Foundation Classes* (IFC) representa uma das únicas excepções a nível de formatos universais para troca de dados, e baseia-se nos princípios dos modelos de representação de objectos da construção, em linha com os conceitos estruturais dos BIM.

Actualmente, as iniciativas existentes tendo em vista a automatização dos processos de licenciamento de projectos apoiam-se sobretudo no modelo IFC como interface para troca de dados entre projectista e entidade licenciadora.

Neste trabalho, é feita uma avaliação da aplicabilidade do modelo IFC, como formato para troca de dados num processo de licenciamento automático, tendo em conta o regulamento nacional em vigor para as redes de distribuição predial de água, procurando assim perceber as dinâmicas de interacção entre um modelo universal, completo, mas genérico, e um regulamento cuja verificação de conformidade se baseia em parâmetros pensados para serem verificados manualmente, de forma a avaliar o grau de compatibilidade entre os dois modelos. Por outro lado, é proposto um modelo parcial para fazer a ligação entre o modelo IFC e uma aplicação de verificação automática da conformidade, segundo o Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de Agosto.

PALAVRAS-CHAVE: SECTOR DA CONSTRUÇÃO, BIM, IFC, LICENCIAMENTO AUTOMÁTICO, REDES DE DISTRIBUIÇÃO PREDIAL DE ÁGUA.

ABSTRACT

The rising quality and complexity demands in construction projects, as well as in productivity in processes, suggests a changing need in the current approach to the construction process.

The Building Information Model (BIM) appears as a way to add a big portion of the building life-cycle information to a construction model. Taking in account the current level of work given to these technologies, the practical results of BIM usage usually are in automation of measuring processes, renderings and IDing errors and omissions in projects. In theory, these applications multiply.

Extending BIM application to the full length of the construction process is often regarded as the best way to get more benefits from the usage of these technologies. To do so, the ideal option would be to use a complete model to meet all the fundamental requirements to address the representation of all the object-oriented parameters from the different construction domains. In practical terms, the size and complexity, as well as the support and update of the model, makes it, at least for the time being, too hard to develop and maintain. As such, using various domain focussed partial models seems to be the best way to approach this issue. Data exchange between different systems is a requirement to maintain the integrity and speed of both the work and information flow, but the lack of standard viable data exchange formats presents itself as an obstacle, as it results in interoperability problems.

Based on the same object oriented concepts as the general BIM, the Industry Foundation Classes (IFC) is perhaps one of the few exceptions to the lack of standard viable data exchange formats.

Currently, the IFC model is used as a data exchange format for all the found automated code compliance initiatives.

In this study, it's presented an evaluation about the IFC model applicability as a data exchange format, regarding the automated code checking of the national building water flow distribution network requirements, with the intent of measuring the compatibility degree and analysing the interaction dynamics between a complete but generic model and a manual check based regulation. Also, it's developed and presented a partial model to establish the connection between the IFC model and a DR nº 23/95 requirement based automated code checking software.

KEYWORDS: CONSTRUCTION SECTOR, BIM, IFC, AUTOMATED CODE-CHECKING, BUILDING WATER FLOW DISTRIBUTION NETWORK

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABELAS

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

€ ... Euros
% ... Percentagem
ROI ... Retorno do investimento [Adimensional]

AEC/FM ... Architecture Engineering Construction and Facilities Management
aecXML ... Architecture Engineering Construction XML
AVAC ... Arrefecimento Ventilação e Ar Condicionado
BIM ... Building Information Model
BLIS ... Building Lifecycle Interoperable Software
CAD ... Computer Aided Design
CAE ... Computer Aided Engineering
CAM ... Computer Aided Manufacturing
CCP ... Código dos Contratos Públicos
CE ... Comissão Europeia
CIS/2 ... CIMsteel Integration Standards
CNC ... Computerized Numerical Control
CORENET ... Construction and Real Estate Network
CPU ... Unidade Central de Processamento
DGE ... Direcção Geral de Energia
DIKW ... Data Information Knowledge Wisdom
DR ... Decreto Regulamentar
DWG ... Formato para troca de dados pertencente à Autodesk – Drawing
e-business ... Electronic Business
EDP ... Electricidade de Portugal
EXPRESS ... Linguagem de programação para o STEP
HTML ... Hypertext Markup Language
I&D ... Investigação e Desenvolvimento
IAI ... International Alliance for Interoperability
ICC ... International Code Council
IFC ... Industry Foundation Classes
ifcXML ... Base de dados IFC em linguagem XML

IGT .... Inspecção Geral do Trabalho

INE .... Instituto Nacional de Estatística

ISDN .... Integrated Services Digital Network

ISO .... International Standards Organization

ISO-STEP .... Projecto para desenvolvimento de formato standard para trocas de dados

LicA .... Aplicação de Licenciamento Automático de projectos de acordo com o DR nº 23/95

LiCAD .... Interface gráfica da aplicação LicA

LNEC .... Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MIC .... Modelo de Informação para a Construção

MIE .... Modelo de Informação do Edifício

MSG .... Model Support Group

NES .... Northern European Subset Group

OSI .... Open Systems Interconnection

PME .... Pequenas e Médias Empresas

RCCTE .... Regulamentos das Características de Conforto Térmico dos Edifícios

RJUE .... Regime Jurídico de Urbanização e Edificação

RSECE .... Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SMAS .... Serviços Municipalizados de Água e Saneamento

SQL .... Structured Query Language

STEP .... Standard for The Exchange of Product Data Model

TI .... Tecnologias de Informação

TIC .... Tecnologias de Informação e Comunicação

TLP .... Telefones de Lisboa e Porto

T-SQL .... Transact Structured Query Language

UN .... Unidade

XML .... eXtensible Markup Language

1
INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUZINDO OS TEMAS

Ao longo da história, o sector da construção sempre foi um grande impulsionador da evolução tecnológica, no entanto, este estatuto foi-se perdendo progressivamente, sendo que na actualidade, tal afirmação não poderia encontrar-se mais distante da realidade. Não significa contudo que a evolução da construção parou. Da madeira e pedra ao betão armado, até às soluções mais actuais, com predominância do vidro e dos materiais compósitos, também a construção evoluiu no sentido de optimizar os recursos existentes de modo a criar algo que melhor responda às exigências e expectativas do utilizador. São contudo os processos utilizados que não acompanharam o ritmo evolutivo das restantes indústrias.

Do ponto de vista de alguém estranho à actividade, o sector da construção é ainda uma actividade bastante rústica e tradicional, à qual não é habitual associar o uso de tecnologias avançadas ou de grandes inovações informáticas. Curiosamente, a realidade não foge muito da percepção.

Tal como os materiais utilizados na construção evoluíram, também a maneira de projectar e organizar a informação o fez. Do papel ao monitor, do lápis ao rato e teclado, as ferramentas actuais fornecem uma gama de funcionalidades que vai muito além do que as soluções mais tradicionais para tratar informação oferecem. Porque é que não são utilizadas ou melhor exploradas? É actualmente uma das perguntas fundamentais, cuja resposta exige necessariamente uma grande reflexão, do que de bem e de mal se faz na construção.

Implementar novos processos implica sempre algum esforço, a nível de aprendizagem e de encaixe do consequente declínio produtivo inicial, mas a mudança justifica-se pela necessidade de tratar problemas cada vez mais complexos e de melhorar continuamente a produtividade do processo construtivo. Perceber como este se desenrola, nas várias fases, do projecto à utilização, é essencial para actuar sobre os vários procedimentos a fim de os melhorar.

Considerando a concepção ou projecto, e a construção ou execução, como as duas grandes fases do processo construtivo, verifica-se que o tipo de informação desenvolvida em cada uma das fases, embora interligada, é de algum modo diferente. No que diz respeito ao projecto, a informação

essencial corresponde às disposições construtivas, estrutura e soluções tecnológicas, aos pormenores, informação esta que é frequentemente dividida em peças escritas e desenhadas.

Pelo contrário, na fase de execução, a informação desenvolvida diz respeito ao planeamento de tarefas, gestão de materiais, equipamentos e recursos humanos, informação de âmbito legal e financeiro, para mencionar as principais.

Tal distinção é oportuna exclusivamente no exercício de perceber o que acontece nas várias fases da construção, não devendo ser levada literalmente, pois toda a informação produzida desde a idealização do edifício é necessária de forma contínua à medida que o processo se desenrola, introduzindo assim um conceito fundamental, a gestão da informação na construção.

Gerir adequadamente a informação é significativamente importante porque representa a base para comunicar. O processo construtivo é indesejavelmente muito fragmentado. O Dono de Obra começa por idealizar algo, um edifício ou uma ideia de um tipo de utilização de um edifício. A partir daí, a linha de colaboração ramifica-se de forma numerosa, entre arquitectos e projectistas de especialidades, empreiteiros, gestores, fiscais, para nomear alguns. Há no entanto uma constante que une todos estes agentes, a necessidade de comunicarem entre si. Se este processo não for bem gerido, dá-se azo a todo o tipo de aspectos negativos, destacando os erros e omissões no projecto e as repetições desnecessárias, sucessivas e desadequadas da informação, que em última análise levam a perdas em custos e prazos, produtividade afinal. E também qualidade. O processo torna-se portanto pouco sustentável.

É neste contexto que entram as tecnologias da informação e comunicação (TIC) na construção. Do telemóvel aos modelos de simulação, do *Microsoft Excel* ao *AutoCAD*, já se usam muitas TIC na construção. A grande questão é que de uma maneira geral, o seu uso poderia ser bastante mais explorado. Reter a noção que o facto de as empresas terem computadores, não significa que se dominam todos os programas, é decisivo para criar uma consciencialização que é necessário progredir nesta área.

O caso dos *Building Information Models* (BIM) espelha claramente o problema da subutilização das TIC na construção. A utilização de um modelo tridimensional de um edifício, com informação integrada para todo o ciclo de vida, por oposição a simples desenhos esquemáticos do mesmo, à partida traz benefícios evidentes. De facto, mesmo sabendo que existem algumas desvantagens associadas a este tipo de tecnologias, não é difícil imaginar que tal aplicação encerre grande potencial, pelo que seria de esperar mais curiosidade, mais investimento, mais intenção à volta da mesma. Tal não acontece, ou acontece a uma escala bastante mais reduzida. No capítulo três deste trabalho, procura explicar-se o porquê. O porquê dos BIM serem aparentemente uma boa ferramenta, fruto das possibilidades que oferecem, o porquê de não serem utilizados ou mal utilizados, fruto do panorama actual que lhes é desfavorável e também o porquê de compensar utilizá-los, fruto do valor que acrescentam.

Associado aos BIM, está o princípio da automação e integração da informação. O conceito de automação é muito importante no contexto actual de qualquer indústria produtiva. Por automação associado a este contexto, entende-se o facto de obter um resultado automático por introdução de um comando ou entrada, que não lhe é necessariamente directo. Concretizando num exemplo, e tomando o contexto dos modelos de construção na fase de projecto, levantar uma parede e obter automaticamente um corte de qualquer uma das secções dessa parede, é um resultado obtido indirectamente, por oposição ao que actualmente se faz na generalidade dos casos, onde os arquitectos têm de introduzir os cortes manual e directamente, sempre sujeitos a enganos e demoras para realizar

tal tarefa. Serve portanto este simples exemplo, para deixar patente como é importante o princípio da automação em processos industriais.

Uma área com excelente potencial de benefício de utilização de processos automáticos, tem a ver com a verificação da conformidade regulamentar de projectos.

Os regulamentos estendem-se não a uma, mas a várias especialidades. Planeamento urbanístico, estruturas e comportamento térmico para nomear alguns, todas estas áreas estão sujeitas às imposições regulamentares que valem na região, e assumem ainda maior importância considerando o facto da pouca normalização existente em Portugal.

Actualmente, a verificação regulamentar de projectos, é feita manualmente. Percorrendo os vários artigos dos regulamentos, verifica-se se o projecto respeita ou não as respectivas imposições. Convém referir que existem já alguns programas que facilitam a verificação regulamentar. No entanto, tratam-se de sistemas básicos de *input/output*, que se limitam a aplicar fórmulas ou condições simples existentes no regulamento, e mediante os valores introduzidos, dão a resposta final de conformidade verificada ou não. A diferença entre este tipo de programa já existente e uma aplicação de licenciamento automático baseada num modelo integrado reside no facto de os valores serem retirados automaticamente do modelo e não medidos, facto extremamente importante para evitar os tão frequentes erros de medição e interpretação. Por outro lado, todo o processo seria muito mais célere.

Numa primeira perspectiva, este cenário parece ideal e a sua implementação não parece muito complicada. Bastaria criar um modelo que verificasse as disposições regulamentares e, consoante o tipo de projecto e projectista, importar a aplicação para o modelo do edifício ou exportar o mesmo para a aplicação. Contudo, neste ponto surge uma das grandes dificuldades quando se trabalha com aplicações como os BIM, os fluxos de informação e trocas de dados entre aplicações.

Importar e exportar informação entre aplicações, implica que haja uma interface[1] que permita traduzir a linguagem utilizada entre elas, ou seja, que haja uma ponte que possibilite a comunicação entre as aplicações. Esta é a noção de interoperabilidade, facto frequentemente discutido quando se fala em BIM. Quando se fala em desvantagens ou pontos negativos da utilização dos BIM, a interoperabilidade é sempre uma das grandes incógnitas, senão mesmo um problema. Para contrariar este princípio, surge o modelo *Industry Foundation Classes* (IFC), o qual se apresenta como um formato universal e público para troca de dados. Uma linguagem que procurar ser comum e compatível com as várias aplicações BIM, pensado com o intuito de criar um standard que permita normalizar o processo construtivo, de modo a explorar o máximo possível as vantagens de projectar usando os BIM.

Apesar de um formato público como o IFC ser teoricamente uma boa ideia, surgem à partida dificuldades nas interfaces com as aplicações BIM. Tal como o termo BIM perde um pouco a lógica quando traduzido à letra para português, também muita informação numa determinada aplicação BIM, perde o sentido quando importada para outra. Porque cada um dos BIM tem a sua própria linguagem de programação, e uma função específica, é possível e provável que outra aplicação não saiba interpretar algo que não esteja dentro do seu leque de funcionalidades, mesmo que ambas aplicações tenham interface IFC.

---

[1] Aqui entendida como elemento intermédio entre aplicações. Esta nota justifica-se pelo facto de, na informática, o termo “interface” ser usado como ligação entre aplicação e utilizador.

As redes de distribuição predial de água são particularmente interessantes para o estudo da automatização dos processos de licenciamento. Porque a representação da rede não é demasiado complexa, mas ao mesmo tempo possui um regulamento com alguns parâmetros desfavoráveis aos processos de modelação, ou seja, parâmetros que quando introduzidos num computador não conseguem ser interpretados, constitui assim um bom caso de estudo, representativo de algumas das dificuldades características da automatização de processos da construção.

1.2. IMPORTÂNCIA DOS TEMAS ABORDADOS

A aposta na área dos sistemas de informação é frequentemente apontada como uma das principais soluções para contrariar a imagem tradicional e os baixos índices produtivos característicos do sector da construção. O facto da adopção de tecnologias de informação na construção não apresentar ainda níveis aceitáveis, sugere a necessidade do aparecimento de iniciativas que divulguem e explorem os seus benefícios para as actividades do sector.

Os modelos de informação apresentam-se como uma das melhores ferramentas para automatizar processos e organizar a informação, no entanto, parece ser ainda necessário percorrer um longo caminho para esta tecnologia merecer a aceitação no seio da actividade. Uma das áreas que poderia beneficiar fortemente da adopção destas ferramentas seria o licenciamento de projectos, já que os BIM tornam possível a sua automatização. O valor acrescentado que se retira deste processo não se limita à obtenção de um melhor processo de licenciamento, mas também à mudança das práticas de trabalho em todo o processo construtivo, resultando numa actividade devidamente automatizada, e por isso mais interligada, fluida e produtiva.

A implementação de um processo automático de licenciamento pressupõe a interoperabilidade entre modelos, nomeadamente onde se projecta e onde se verifica a conformidade regulamentar. Tal constitui talvez o maior entrave à evolução desta área devido aos problemas actuais em trocar informação entre diferentes sistemas.

Profissionalmente, a importância deste trabalho revê-se pelo facto de permitir tirar algumas conclusões quanto ao modelo IFC como formato universal para troca de dados, especialmente na óptica do licenciamento automático de um regulamento nacional.

Academicamente, a importância deste trabalho é sublinhada pela necessidade em incentivar a divulgação dos sistemas de informação no meio, com especial destaque para os BIM, ao mesmo tempo que poderá servir de base para consulta e desenvolvimentos futuros.

1.3. OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO

Pretende-se com este trabalho cumprir os seguintes objectivos:

1. Analisar os meios actualmente disponíveis para gestão da informação na construção, com o intuito de responder aos requisitos necessários para sistematizar e automatizar o fluxo de informação nas várias fases do processo construtivo, com especial ênfase no processo de licenciamento de projectos.
2. Avaliar o modelo IFC como solução para os problemas de interoperabilidade entre sistemas, nomeadamente, para trocas de dados entre projectistas e entidade licenciadora.
3. Verificar a compatibilidade do modelo IFC com o Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de Agosto, cujos pressupostos de modelação são neste trabalho expostos na figura da estrutura de

base de dados de uma aplicação de licenciamento automático, desenvolvida pelo Professor João Pedro Poças Martins no âmbito da sua tese de doutoramento.

4. Propor um modelo parcial, sob a forma de um mapa conceptual, para realizar a interface entre a aplicação de licenciamento automático e o modelo IFC.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A introdução dos temas que serão objecto de análise, a explicação da sua importância, as metas a atingir e a organização do trabalho encontram-se no primeiro capítulo.

No segundo capítulo procura-se contextualizar o âmbito onde se inserem as tecnologias aqui analisadas, através de uma caracterização genérica do sector da construção.

Segue-se a análise de vários aspectos teóricos relacionados com os modelos de informação, quer em termos de funcionamento, vantagens e desvantagens, e implementação na actividade da construção, bem como o estudo dos formatos para troca de dados entre sistemas. A análise efectuada neste terceiro capítulo tem como base a consulta de estudos já realizados.

O quarto capítulo é dedicado em exclusivo ao estudo do processo de licenciamento, primeiro numa perspectiva actual, procurando identificar quais os aspectos merecedores de reflexão e mudança, conceitos que serão depois aproveitados para servir de base à projecção das ideias sobre a automatização desta fase da construção.

A resposta aos objectivos primários da dissertação é dada no quinto capítulo. São identificados os recursos que constituem a base para a avaliação da compatibilidade entre o modelo IFC e o Decreto Regulamentar nº 23/95, e apresentados os resultados sob a forma de uma análise de correspondências e de um modelo parcial para um conversor entre uma aplicação de licenciamento automático do regulamento e o modelo IFC.

Num sexto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como as oportunidades encontradas para desenvolvimentos futuros.

2
O SECTOR DA CONSTRUÇÃO

2.1. INTRODUÇÃO

No decorrer da dissertação, o processo construtivo será frequentemente mencionado, já que é sobre o mesmo que a maioria das temáticas abordadas influem, pelo que se torna importante clarificar os vários conceitos por trás do mesmo, de modo a estabelecer um conjunto de ideias a serem-lhes associadas, sempre que se fala deste tema.

O processo construtivo representa o conjunto de etapas, associadas de forma contínua, que é necessário percorrer, desde a ideia inicial do produto a construir, até à fase de utilização, ou indo um pouco mais longe, até à fase de demolição[2]. Não é de estranhar portanto, que a noção de processo construtivo seja muitas vezes associada ao ciclo de vida útil do produto da construção.

Directamente associadas às etapas, encontram-se os respectivos intervenientes que apesar de poderem e deverem contribuir ao longo de todo o processo, têm um período de acção mais intenso na respectiva fase de actividade. Distinguir as várias etapas e intervenientes do processo construtivo é um bom caminho para se perceber o conceito e algumas das particularidades que lhe são características.

Concretizados os aspectos de funcionamento do processo construtivo, importa reflectir sobre os aspectos negativos que lhe são associados e que deverão servir de motivação para uma mudança de paradigma de forma a obter melhores condições e resultados nas práticas de trabalho.

Adoptar políticas de qualidade a nível de processos e de produtos, representa um bom meio de valorização do processo de construção. Deste modo, será importante reflectir, ainda que superficialmente, sobre alguns aspectos da qualidade na construção.

A legislação é frequentemente apontada como uma das únicas formas de introduzir mudanças no sector da construção, com o carácter obrigatório a servir de gatilho para romper a inércia que se verifica à evolução natural dos processos. A tendência de alguns dos regulamentos mais recentes mostra um aumento substancial das exigências em relação ao rigor da concepção e dos prazos

[2] Esta ressalva surge pelo facto de, na maioria dos casos, o processo construtivo não ser pensado até uma fase tão adiantada. Curiosamente, esta é precisamente uma das razões pelas quais, quando surge a necessidade de demolir, surjam problemas de gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD).

associados ao projecto, com prejuízos para projectistas e empreiteiros. Os desequilíbrios verificados devem-se não só às entidades que desenvolvem os regulamentos, mas também aos agentes da construção que não parecem dar primazia a estes aspectos.

As tecnologias de informação e comunicação na construção assumem um papel cada vez mais preponderante, ainda que a indústria da construção apresente dos índices mais baixos em comparação com outras indústrias. Será conveniente abordar superficialmente este tema, que servirá de porta para o estudo dos conceitos mais complexos dos modelos de informação.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO

2.2.1. FASES

A definição das várias etapas, pode variar de autor para autor, tendo contudo presente que existem determinadas etapas que, não são, nem podem, ser ignoradas. Assim, veja-se o seguinte esquema, traduzindo de forma simples mas eficaz, as várias fases do processo construtivo:
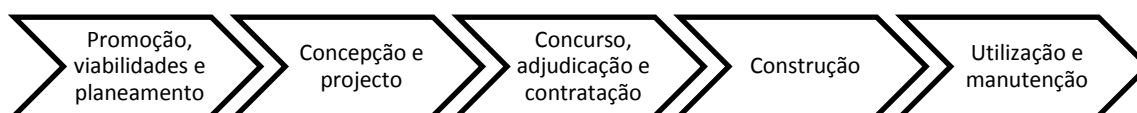
Fig. 1 - Fases do processo construtivo

Apesar de se tratar de uma descrição tradicional e geral do processo, revela-se bastante adequada já que mostra as várias fases, sem entrar num pormenor só relevante a um nível mais aprofundado do estudo. Interessa então ver uma a uma, as várias etapas:

- **Promoção, viabilidades e planeamento**

  As actividades do processo construtivo têm inicio a partir da visão do Dono de Obra (seja ele uma entidade pública ou privada, singular ou plural) em construir algo, seja por necessidade ou por vontade. A decisão de promover a sua visão, passa pelo estabelecimento de objectivos, de modo a contextualizar e enquadrar as operações que se seguem. Frequentemente, a localização da obra aparece à partida associada às características da obra.

  Antes de projectar o que quer que seja, é necessário apurar se é possível pôr em prática as ideias e respectivos objectivos apresentados, ou seja, fazer o estudo de viabilidade. Viabilidade refere-se à disponibilidade de recursos para construir.

  O recurso mais importante é sem dúvida a disponibilidade financeira para levar a construção para a frente. Há vários outros recursos a apurar em termos de viabilidade, mas sem dinheiro, não é possível construir. De facto, o estudo de viabilidade não é mais do que uma quantificação da informação associada ao produto da construção, seja em termos líquidos, ou em termos de fluxos de valores (Eastman 1999), pelo que no fim do processo, será decisivo verificar se o resultado da referida quantificação pode ou não ser comportado.

  Outros estudos de viabilidade passam pela análise de impactes ambientais e viabilidades técnicas, como levantamentos, inquéritos e estudos.

- **Concepção e Projecto**

A fase de concepção e projecto encontra-se dividida em várias sub-fases. No contexto do estudo aqui desenvolvido, não interessa aprofundá-las, mas é pertinente perceber a sequência segundo a qual se desenrola.

Numa primeira fase, no chamado programa base e no estudo prévio, procede-se à avaliação do programa, ou seja, das directivas do Dono de Obra. Conhecer bem o programa é indispensável à primeira fase da concepção, pois é necessário assegurar a adequada interpretação dos objectivos definidos, que naturalmente, aumentam de importância com a complexidade da obra. É também necessário proceder à pesquisa documental regulamentar e técnica, bem como, estabelecer contactos com os intervenientes do processo construtivo.

Inicialmente, são consideradas várias soluções que, pela análise técnica, de compatibilidade económica, de prazos e de exequibilidade das operações atendendo às restrições, levam à escolha de uma primeira solução geral, ainda que provisória, para o projecto de execução, a ser aprovada pelo Dono de Obra.

O anteprojecto ou projecto base surge na linha da fase anterior e serve sobretudo para estabelecer definitivamente as bases para o projecto de execução. Aspectos que antes eram provisórios, mantidos em aberto de modo a encontrar a melhor solução possível, tais como, definir e detalhar todos os elementos do programa, com recurso a plantas, cortes e alçados, definir os princípios construtivos e dimensionamento dos principais elementos, definir materiais, entre outros, são agora fixados de modo a organizar os elementos necessários à concretização dos recursos a utilizar.

De seguida, vem talvez a fase mais importante do projecto[3], o projecto de execução. Porque serve para ultimar o projecto em termos quantitativos referentes aos recursos que é necessário adquirir para construir. Também porque é quando se articulam as várias especialidades, se verifica a conformidade regulamentar, se clarifica e uniformiza a redacção e as unidades a utilizar, se garante a coerência dos documentos e define previamente a informação necessária ao plano de segurança e saúde.

A fase do projecto termina com a elaboração dos documentos de comunicação, ou seja, a organização das peças escritas e desenhadas de forma consistente, completa e articula para que permitam a execução da obra sem dúvidas, de forma coordenada e sem omissões (Sousa 2009).

- **Concurso, adjudicação e contratação**

Associada a esta etapa, está a fase de concurso e adjudicação da obra, bem como, o estabelecimento dos aspectos contratuais. Para defini-los, é necessário por parte de quem recebe a obra, uma estimativa dos custos de execução do projecto, bem como uma avaliação dos meios que serão necessários à execução da obra, incluindo meios materiais (equipamentos e materiais) e meios humanos (mão-de-obra), pelo que uma correcta avaliação destes parâmetros torna-se essencial para que as disposições contratuais a estabelecer, sejam mais tarde respeitas. (Eastman 1999).

[3] A importância desta fase origina frequentemente a negligência das fases anteriores, que habitualmente, apresentam debilidades como tempos para concepção reduzidos, ou avaliação pouco rigorosa dos custos.

- **Construção**

O início da fase de construção, caracteriza-se pelo desenvolvimento do plano de segurança e saúde, bem como, do planeamento de tarefas e contacto com os fornecedores e subempreitadas com vista à preparação para o início dos trabalhos. Estes aspectos são depois sujeitos a controlo e revisão ao longo da fase de construção, sendo que, quando necessário, procede-se ao respectivo ajuste dos parâmetros inicialmente estabelecidos. Esta fase apresenta-se como a mais sensível aos aspectos negativos não só característicos da própria fase de execução, mas também das fases anteriores, pois a repercussão das deficiências dos projectos e do planeamento, geralmente faz-se sentir a nível dos processos de construção (Eastman 1999).

- **Utilização e manutenção**

Recebida a obra, estão criadas as condições para instalar equipamentos e mobiliário e entrar na fase de utilização.

Como todos os produtos, também as obras precisam de ser conservadas e para tal, é necessário proceder à respectiva manutenção. De modo a simplificar os processos, é cada vez mais frequente e necessária a documentação adequada da informação, reunida na fase de projecto e execução, de modo a criar algo parecido a um manual de utilização e manutenção.

2.2.2. Intervenientes

Ao processo construtivo está associado um grande número de intervenientes. Interessa pois listá-los e agrupá-los segundo as grandes figuras características das mais importantes fases da construção (Correia dos Reis, 2008):

Dono de Obra (ou seu representante)

- Gestor Geral da Obra
- Revisão do Projecto
- Gestão Global da Qualidade
- Coordenação e Fiscalização

Autores dos projectos

- Arquitectura
- Estrutura
- Demolição, Escoramento e Construção Periférica
- Águas e Saneamento
- Gás
- Ventilação e Ar condicionado
- Electricidade, Telefone e Televisão
- Isolamento Térmico
- Isolamento Acústico
- Protecção Contra Incêndios
- Arranjos Exteriores
- Plano de Segurança e Saúde

Empreiteiro

- Director de Obra
- Técnico de Obra

- Apontador
- Apoio técnico e administrativo
- Encarregado, arvorados, seguidores, chefes de equipa, operários.
- Subempreiteiros

Entidades Fiscalizadoras

- Câmaras Municipais
- SMAS
- TLP
- EDP
- Bombeiros Municipais
- DGE
- Delegações de Saúde
- IGT

2.3. UMA INDÚSTRIA OU TALVEZ NÃO

Fala-se frequentemente em indústria da construção. Será pertinente analisar se este termo se aplica correctamente. Veja-se a definição de indústria no dicionário:

Indústria
(latim industria, aplicação, zelo, trabalho, esforço)

s. f.

1. Arte, manha ou destreza para atingir os objectivos. = ARGÚCIA, ENGENHO

2. Engenho ou habilidade para fazer algo. = ARTE, DESTREZA, PERÍCIA

3. Actividade profissional.

4. Conjunto das actividades que visam a manipulação e transformação de matérias-primas para a produção de bens de consumo.

5. Cada uma dessas actividades (ex: indústria petrolífera).

6. Fábrica.

7. Conjunto das pessoas e dos processos envolvidos no fabrico ou na produção de algo (ex: indústria musical).

de indústria: de propósito.

Algumas das definições de indústria podem efectivamente aplicar-se ao sector da construção, no entanto, um aspecto essencial implícito ao termo, não se encontra lá definido. A produtividade. Por produtividade, entende-se a comparação entre os resultados esperados e os obtidos. Os resultados esperados são definidos através de uma quantificação ponderada dos resultados que deverão ser obtidos face aos recursos disponibilizados sejam eles materiais ou de mão-de-obra. Assim, facilmente se percebe que, se a produtividade aumentar, entenda-se, os resultados obtidos excederam os esperados, o sistema de produção foi melhorado ou melhor aproveitado. Tornou-se mais eficiente afinal.

O sector da construção tem índices produtivos muito inferiores aos registados em outras indústrias (Fonseca 2008), como por exemplo a automóvel. Porquê? Essencialmente porque nessas, se verifica

um grande foco no sistema produtivo. Projectada para tirar o máximo proveito de processos repetitivos e automatizados, a fabricação torna-se rápida e eficiente, logo produtiva. Refira-se que a palavra projectar não surge por acaso. O projecto é decisivo em processos altamente produtivos, pois é nesta fase que se conseguem maiores oportunidades de influência, com menores custos acumulados (Moreira da Costa 2009). Proceder a alterações profundas em fase de execução, representa na grande maioria dos casos em perdas de produtividade muito significativas.

Foi dito que o projecto é muito importante num sistema produtivo, mas falta referir um aspecto que é igualmente importante para se conseguir projectar adequadamente, a noção de standard ou padrão. Porque são necessárias regras e linhas de orientação para produzir eficazmente, sob pena de se perder tempo e dinheiro em coisas que podem ser obtidas automaticamente, tais como, definir quais os materiais e quantidades necessários à fabricação de determinado elemento, ou encontrar um transporte compatível com as dimensões de determinado material. Associado a este conceito, está a normalização. Ao contrário de outros países, com sistemas produtivos ditos mais desenvolvidos, em Portugal a normalização tem uma função mais virada para a garantia de qualidade, do que para a garantia de conformidade. Veja-se o exemplo do sistema francês, onde os vários processos da construção se encontram normalizados, sendo necessário seguir as directivas estabelecidas para obter aprovação do projecto.

Voltando à produtividade na construção, importa referir alguns dos factores que justificam os baixos índices produtivos (Poças Martins 2009), (Moreira da Costa 2009):

- **Esquema produtivo não repetitivo**

  Se é verdade que a construção é muito mais específica que outras indústrias, ou seja, cada projecto é diferente e tem de ser encarado de maneira diferente, com todas as especificidades que lhe são associadas e restritas, também é verdade que há processos que são comuns a todos os projectos e é sobre esses que é necessário actuar. Especificar dimensões ou quantidades de materiais, definir as etapas de fabricação do betão, são exemplos de áreas passíveis de standardização, o que significa repetição de tarefas, o que leva ao aperfeiçoamento dos processos.

  Essencialmente, o que se pretende é maximizar o aproveitamento de recursos. Tal como nas fábricas automóveis se verifica uma produção em massa, é necessário adoptar metodologias que aproximem o processo construtivo o mais possível desse tipo de produtividade, sabendo claro que não é possível produzir casas numa fábrica, pelo menos não da maneira como se fazem automóveis.

- **Número elevado de elementos operacionais**

  O grande número de operacionais envolvidos no processo construtivo é um problema. Porque gerir individualidades é das tarefas mais complicadas de quem dirige, pois cada um tem o seu ritmo, a sua habilidade, os seus benefícios e malefícios para o conjunto, e porque os processos não são devidamente normalizados, dando azo a cada um fazer de acordo com a sua prática corrente, podendo ou não condicionar o planeamento de tarefas estabelecido.

- **Grande interdependência no desenvolvimento de cada actividade**

  O processo construtivo é um processo contínuo. Contínuo significa a precedência sucessiva de etapas ou tarefas, logo é fundamental considerar a ligação entre as mesmas, o que habitualmente não sucede, pois há uma tendência generalizada para olhar cada uma das especialidades como uma tarefa isolada, sem ligação ou preocupação para a que lhe sucede, a qual terá muito provavelmente de encarar trabalhos extra, sejam de compatibilização ou acondicionamento para arranque dos seus próprios trabalhos.

- **Dificuldade na compreensão das especificidades de cada actividade por elementos das equipas envolvidas em outras especialidades**

É indiscutível que é necessário haver especialistas em várias áreas. Conhecimento especializado contudo não deve implicar um total desconhecimento das outras áreas que lhe são próximas. Cada especialidade terá a sua própria visão de um mesmo problema, no entanto, se houver um conhecimento de âmbito um pouco mais alargado, as soluções poderão ser mais aproximadas. Porque a compatibilização dos processos e dos elementos é uma das áreas mais difíceis de gerir, sobretudo sem linhas produtivas normalizadas, desconhecer as restantes actividades, implica mais trabalhos de compatibilização e acondicionamento, bem como produtos finais com grande heterogeneidade a nível de qualidade.

- **Tecnologia da fabricação**

Um dos motivos pelos quais outras indústrias, que não a da construção, são tão produtivas, é o facto de a fabricação consistir de um modo geral numa simples assemblagem de peças. Tudo de forma automática e mecanizada. Na construção, não é possível introduzir os materiais numa máquina e sair o edifício já montado. É no entanto possível, gerar muitos dos elementos em fábrica e proceder à sua assemblagem no estaleiro, noção de prefabricação. No entanto, verifica-se que tal acontece apenas para poucas áreas, tais como estruturas metálicas ou redes de abastecimento de águas e saneamento.

Considerando o facto de Portugal ser um dos países com maior predominância em estruturas reticuladas em betão armado fabricadas *in-situ*, torna-se difícil expandir o conceito de assemblagem, no entanto, a aposta em elementos prefabricados é definitivamente uma área que merece ser explorada, com vista à simplificação dos processos no estaleiro. De referir mais uma vez, a importância de normalizar os processos e os elementos da construção, pois só assim se pode implementar com sucesso uma filosofia de prefabricação e assemblagem, caso contrário, o risco da não compatibilização sobe consideravelmente.

- **Projecto deficiente**

O projecto é fundamental para o processo construtivo, já que representa a fundação para o mesmo. Assim, não é de estranhar que um processo construtivo pouco produtivo reflicta um projecto pouco conseguido e vice-versa. O aumento da quantidade de informação, da pormenorização e da organização de um projecto, são factores que contribuem para um bom projecto, mas que requerem um maior nível de dedicação a esta etapa.

Um aspecto bastante sintomático que não é dada a devida relevância ao projecto, tem a ver com a relação custo de projecto e custo de produção. Um estudo (Eastman 1999) mostra que, enquanto uma indústria como a electrónica, tem uma relação de um para mil ou um para um milhão, ou seja, apenas uma ínfima parte dos custos é utilizada para a produção (custo unitário por produto), a construção tem uma relação inversa de um para dez.

Tabela 1 - Relação entre custos de projecto e custos de produção (Eastman 1999)

Exemplo	Custo/Un	Design	Relação
Microprocessador	€.10^2	€.10^8	1/1 Milhão
Electrónica de consumo	€.10^2	€.10^6	1/Milhares
Construção	€.10^6	€.10^5	<1/0.1

Esta comparação não pode ser levada literalmente, pois um projecto de electrónica serve para uma produção em massa, cujo valor do produto final é muito inferior ao de uma obra da construção, mas, serve ainda assim para alertar para a diferença de peso que se dá ao projecto nas duas áreas. Se é inegável que um melhor projecto se traduz num melhor produto final e em maior produtividade, então talvez fosse uma boa solução despender mais recursos para o mesmo.

- **Gestão do ciclo de vida do produto**

A gestão do ciclo de vida do produto tem a ver com a gestão de todos os recursos que lhe são associados, sejam eles materiais, dados e informação, e recursos humanos, desde a concepção até à demolição e gestão de resíduos.

O grande problema em relação a este tema na construção tem a ver com o facto do ciclo de vida de um produto, na construção, ser incerto. Tanto na duração como na utilização. Este facto confere incerteza aos requisitos que um edifício deve cumprir, pelo menos nas fases mais iniciais do processo construtivo. Seria portanto necessário criar uma série de especificações, aplicáveis a todos os edifícios durante as várias fases do ciclo, e que depois, consoante a utilização, fossem ramificando até encontrar a especificação mais adequada à obra em questão.

- **Dispersão da indústria da construção**

A dispersão da indústria da construção verifica-se a vários níveis. Começando no facto de haver um grande número de pequenas empresas, geralmente com um âmbito muito reduzido de actividade, surge outra vez a problemática da compatibilização de sistemas e processos. Os trabalhos variam bastante e podem ser distribuídos por várias pequenas empresas, e sem sistematização, a respectiva interligação torna-se mais difícil. Por outro lado, deve favorecer-se a escolha de equipas com experiência de trabalho entre si, pois além de ser um factor que tende a melhorar o ambiente de trabalho, evita também perdas de tempo com a familiarização dos processos, resultando numa mais fácil comunicação, e por conseguinte, num processo mais fluído e produtivo.

Resumindo, apesar de se incluir no leque de actividades consideradas indústrias, o sector da construção apresenta um comportamento bastante diferente da maioria das restantes. Se por um lado, as próprias características e exigências são diferentes, por outro percebe-se que há efectivamente espaço para evoluir no sentido de tornar o processo construtivo mais produtivo. A solução passa por adoptar metodologias de standardização e automação de processos, fomentando não só esquemas de produção mais produtivos, como principalmente, uma mudança de paradigma a nível do projecto.

2.4. A QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO

A qualidade de um produto faz-se sentir a diferentes níveis. Para começar, a definição de qualidade segundo o *British Standard BS4778*:

A qualidade de um produto ou serviço representa o conjunto de propriedades e características de um produto ou serviço relacionadas com a sua capacidade de satisfazer exigências expressas ou implícitas (…)

Exigências expressas dizem respeito aos requisitos especificados objectivamente pelo Cliente, enquanto exigências implícitas aos requisitos associados às funções primárias que o produto ou serviço deverá cumprir. O denominador comum a estes conceitos é o Cliente. Em última análise, será o cliente a definir se o produto tem ou não qualidade. Note-se que, mesmo concentrando-se o foco da análise no sistema de produção, também nessa fase, as deficiências irão fazer-se sentir pelo cliente, quer seja sob a forma de um produto ou serviço menos bem realizado, quer por que custou ou demorou mais do que o valor que lhe foi atribuído. Em qualquer dos casos, a qualidade é de nível inferior. Assim, não é de todo estranho associar à qualidade, conceitos como a eficiência.

A eficiência rege-se sobretudo por três linhas fundamentais (Moreira da Costa 2009):

- Pensar e planear o que fazer
- Fazer o que o que foi dito
- Registar o que foi feito e como

O primeiro ponto está claramente associado ao projecto. A importância de um projecto é inegável. Também inegável é a sua complexidade. A complexidade é frequentemente acompanhada de problemas, para os evitar, é necessário antecipação, que só pode ser atingida pensando e planeando.

Não fazer o que foi dito, significa uma de duas situações. Ou se está a executar mal, ou não é possível executar o que foi dito, logo o primeiro ponto não foi cumprido. De qualquer modo, ambas as situações representam um comportamento ineficiente.

O terceiro ponto é importante por dois motivos. Criar um registo a consultar em caso de necessidade (sobretudo na perspectiva da manutenção) e avaliar o desempenho das actividades, de modo a perceber onde se pode melhorar, perpetuando uma melhoria contínua da eficiência dos processos.

Mecanismos como a normalização, acreditação e certificação, servem para estabelecer uma dinâmica de padronização e garantia de qualidade de produtos e/ou serviços, de modo a assegurar os interesses do Cliente.

Um dos três conceitos vistos anteriormente é especialmente importante para o sector da construção, a normalização. Veja-se a sua definição (Moreira da Costa 2009):

A Normalização é uma actividade conducente à obtenção de soluções para problemas de carácter repetitivo, essencialmente no âmbito da ciência da técnica e da economia, com vista à realização do grau óptimo de organização num dado domínio. Consiste em geral, da elaboração, publicação e promoção do emprego das normas. A elaboração e aprovação de normas têm por finalidade a racionalização e a simplificação de processos, componentes, produtos e serviços. Permite uma maior facilidade de entendimento e visa o estabelecimento de parâmetros a utilizar em acções de avaliação da conformidade.

As partes destacadas mostram os conceitos essenciais por detrás da normalização. Racionalizar e simplificar problemas de carácter repetitivo faz todo o sentido na óptica do que foi visto sobre

qualidade e mais propriamente sobre a eficiência. Se os processos estiverem já definidos e a sua qualidade assegurada, torna-se muito mais fácil aplicá-los e executá-los.

O conceito de normalização também pode (e deve) ser aplicado à gestão da informação na construção. A ausência de documentos técnicos de referência relativos à informação sobre a execução dos trabalhos e materiais que lhes estão associados, as dificuldades de reunião e divulgação das normas, especificações e textos técnicos, e por fim, a inexistência de conteúdos de utilização generalizada para geração de documentos comuns no processo construtivo, constituem razões para a realidade dos problemas de eficiência (e falta dela). Este tipo de problemas traduz-se em falta de qualidade dos processos e perda de rentabilidade das organizações intervenientes no processo construtivo, com a consequente repercussão nos custos dos produtos (INESC 2008).

No contexto actual, a documentação apresenta-se sob diversos formatos e com conteúdos muito díspares em extensão e substância, não dispondo o meio técnico de ferramentas auxiliares técnicas e organizativas que lhes facilitem o trabalho.

Deste modo, torna-se consensualmente reconhecida pelos diferentes intervenientes na actividade, a necessidade de utilização de sistemas estruturados de informação que integrem conteúdos standardizados de referência e processos funcionais para a sua gestão e organização.

A qualidade da informação na construção está largamente associada à qualidade dos projectos. A avaliação de qualidade e a gestão de projectos são aspectos com grande importância para a melhoria desta área, e como tal, devem ser encarados segundo metodologias certificadas pelas entidades competentes. Assim, a fraca qualidade da informação leva a perturbações na execução. Por fraca qualidade da informação, entende-se informação que necessariamente precisará de ser revista (reinterpretada ou refeita), quer porque é insuficiente, questionável, conflituosa ou ainda incorrecta. De qualquer maneira, situações desta natureza resultam em atrasos no planeamento inicialmente concebido.

2.5. *LEAN CONSTRUCTION*

Os conceitos abordados em 2.4 podem ser reunidos e implementados sobre a forma de uma metodologia de abordagem do processo construtivo. Tal associação representa as bases da *Lean Construction*, Construção Magra ou Enxuta.

Com origem na indústria de produção de automóveis, as filosofias *Lean*, nessa fase com o nome de *Lean Production*, foram pensadas com o intuito de criar um sistema de produção em série de alto rendimento, com grandes níveis de eficiência e desempenho, sobretudo através da eliminação de todos os tipos de desperdício. Os resultados positivos obtidos nesta área mereceram a atenção da indústria da construção, que procurou adaptar os mesmos conceitos ao processo construtivo, surgindo então a *Lean Construction*. No entanto, as diferenças do paradigma da produção nas duas indústrias são substancialmente diferentes e como tal, também diferente é a facilidade de implementação e os resultados obtidos (Arantes 2008).

Existem duas vertentes fundamentais da *Lean Construction*. O *Lean Design* e a *Lean Production*[4].

[4] Não confundir com a designação apresentada para a indústria automóvel. Na verdade, esta denominação constitui uma opção do autor deste trabalho, de forma a distinguir as ideias *Lean* aplicadas à concepção, das aplicadas à fase de execução ou produção.

O *Lean Design* aplica-se à fase de concepção e tem por vista tornar o projecto à prova de desperdício. A aplicação desta ideia passa essencialmente por dois princípios.

Em relação ao primeiro princípio, pretende-se tornar o projecto mais facilmente interpretável por todos os envolvidos e não apenas às respectivas áreas de especialidades, através da redução de linguagem técnica desnecessária, ambiguidades e informação deficiente. Isto pressupõe mais pormenorização e sistematização da informação. Com isto, pretende-se mais e melhor comunicação.

O segundo princípio tem a ver com a procura pela maior compatibilização possível entre elementos. Projectar tendo em conta as medidas de fábrica, as relações entre os vários elementos que compõem a obra e a sua compatibilização, isto com o intuito de conservar as propriedades e a integridade de fábrica dos materiais e perder menos tempo, dinheiro e recursos (leia-se materiais) a adaptar os elementos no estaleiro. Um bom indicador da correcta aplicação deste princípio, é encontrar o contentor de resíduos e desperdícios do estaleiro, vazio ou quase. Infelizmente, a grande maioria dos casos ilustra exactamente o contrário (Sedam 2009).

Quanto à *Lean Production*, referente à fase de execução, resumidamente, trata-se de um método de gestão da rede produtiva que actua ao nível do planeamento e do controlo da produção, reduzindo a rigidez dos planeamentos que são feitos mais a médio prazo de forma a ter em conta imprevistos e aumentando o controlo das operações com vista ao ajuste das tarefas, evitando constrangimentos de várias ordens. O resultado é um processo mais ajustável e flexível, que visa uma maior envolvência entre os intervenientes, resultando num fluxo de trabalho interdependente e contínuo de forma a reduzir o desperdício na construção (Arantes 2008). Ora isto é exactamente o oposto do que se passa na construção segundo as práticas tradicionais. O grande isolamento entre diferentes especialidades e também entre tarefas e tarefeiros leva muitas vezes às famosas derrapagens orçamentais e de calendário.

É frequente encontrar os conceitos de *Lean Construction* e BIM juntos. Não porque são iguais, mas porque se complementam. De facto, utilizar os BIM é uma excelente maneira de fazer valer os princípios da *Lean Construction*, ou seja, trata-se de uma boa ferramenta para aplicar e viabilizar a *Lean Construction*. Analisando os objectivos e os princípios que constituem a base dos dois conceitos, chega-se à conclusão que são semelhantes.

2.6. A LEGISLAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

A legislação é um aspecto muito importante em qualquer processo que acarrete grandes responsabilidades. A tendência dos últimos anos, mostra o aumento dessas responsabilidades, traduzindo-se num agravamento das consequências para quem produz.

Um exemplo desta situação é o actual **Código dos Contratos Públicos** (CCP). Veja-se o que diz o Artigo 378º:

Artigo 378.º - Responsabilidade pelos erros e omissões

1 — O dono da obra é responsável pelos trabalhos de suprimento de erros e omissões resultantes dos elementos que tenham sido por si elaborados ou disponibilizados ao empreiteiro, designadamente os elementos da solução da obra.

2 — Quando o empreiteiro tenha a obrigação de elaborar o projecto de execução, é o mesmo responsável pelos trabalhos de suprimento dos respectivos erros e omissões, excepto quando estes sejam induzidos pelos elementos elaborados ou disponibilizados pelo dono da obra.

3 — O empreiteiro é responsável pelos trabalhos de suprimento de erros e omissões cuja detecção era exigível na fase de formação do contrato nos termos do disposto nos n^os^ 1 e 2 do artigo 61º, excepto pelos que hajam sido identificados pelos concorrentes na fase de formação do contrato mas que não tenham sido expressamente aceites pelo dono da obra.

4 — O empreiteiro é ainda responsável pelos trabalhos de suprimento de erros e omissões que, não sendo exigível que tivessem sido detectados na fase de formação do contrato nos termos do disposto nos n^os^ 1 e 2 do artigo 61º, também não tenham sido por ele identificados no prazo de 30 dias a contar da data em lhe fosse exigível a sua detecção.

5 — A responsabilidade do empreiteiro prevista no nº 3 corresponde a metade do preço dos trabalhos de suprimento dos erros e omissões executados.

6 — Sem prejuízo do disposto nos números anteriores, caso os erros ou omissões decorram do incumprimento de obrigações de concepção assumidas por terceiros perante o dono da obra:

a) Deve o dono da obra exercer obrigatoriamente o direito que lhe assista de ser indemnizado por parte destes terceiros;

b) Fica o empreiteiro sub-rogado no direito de indemnização que assista ao dono da obra perante esses terceiros até ao limite do montante que deva ser por si suportado em virtude do disposto nos n^os^ 3 a 5.

7 — No caso previsto no número anterior, a responsabilidade dos terceiros perante o dono da obra ou o empreiteiro, quando fundada em título contratual, é limitada ao triplo dos honorários a que tenham direito ao abrigo do respectivo contrato, salvo se a responsabilidade em causa tiver resultado de dolo ou de negligência grosseira no cumprimento das suas obrigações.

Como se pode ver, o articulado prevê que os projectistas sejam responsabilizados pelos erros e omissões dos seus projectos, podendo pagar até três vezes o valor do projecto. Repare-se que apesar da obrigatoriedade por parte do Dono de Obra em exercer o direito de indemnização junto dos projectistas, mesmo que não o faça, fá-lo-ão os empreiteiros, já que, também estes são responsabilizados por erros e omissões que não sejam detectados dentro do prazo previsto, que refira-se, mantém-se sempre, não sendo ajustável consoante a dimensão do empreendimento, com a diferença que no caso dos projectistas, existe o tal tecto de três vezes os honorários, mas não para os empreiteiros.

Este artigo do CCP revela uma intenção clara em motivar a precisão dos projectos, impondo penas severas em caso contrário, o que teoricamente é algo positivo, no entanto, os prazos estabelecidos são demasiado curtos. De facto, se uma empreitada recebe um projecto com elevado número de erros e omissões, trinta dias pode não ser suficiente para os mesmos serem detectados. Mesmo utilizando ferramentas de modelação avançadas como os BIM, a tratar-se de um grande empreendimento, o mais certo é haver escassez de tempo para a análise do projecto.

Veja-se agora o Artigo 370º do mesmo regulamento, referente aos trabalhos a mais:

Artigo 370.º - Trabalhos a mais

1 — São trabalhos a mais aqueles cuja espécie ou quantidade não esteja prevista no contrato e que:

a) Se tenham tornado necessários à execução da mesma obra na sequência de uma circunstância imprevista; e

b) Não possam ser técnica ou economicamente separáveis do objecto do contrato sem inconvenientes graves para o dono da obra ou, embora separáveis, sejam estritamente necessários à conclusão da obra.

2 — Só pode ser ordenada a execução de trabalhos a mais quando se verifiquem as seguintes condições:

a) O contrato tenha sido celebrado na sequência de ajuste directo adoptado ao abrigo do disposto no artigo 24º ou no nº 1 do artigo 25º, de procedimento de negociação, de diálogo concorrencial, de concurso público ou de concurso limitado por prévia qualificação;

b) Quando o contrato tenha sido celebrado na sequência de concurso público ou de concurso limitado por prévia qualificação e o anúncio do concurso tenha sido publicado no Jornal Oficial da União Europeia, no caso de o somatório do preço atribuído aos trabalhos a mais com o preço contratual ser igual ou superior ao valor referido na alínea b) do artigo 19º;

c) O preço atribuído aos trabalhos a mais, somado ao preço de anteriores trabalhos a mais e deduzido do preço de quaisquer trabalhos a menos, não exceder 5 % do preço contratual; e

d) O somatório do preço atribuído aos trabalhos a mais com o preço de anteriores trabalhos a mais e de anteriores trabalhos de suprimento de erros e omissões não exceder 50 % do preço contratual.

3 — O limite previsto na alínea c) do número anterior é elevado para 25 % quando estejam em causa obras cuja execução seja afectada por condicionalismos naturais com especiais características de imprevisibilidade, nomeadamente as obras marítimas -portuárias e as obras complexas do ponto de vista geotécnico, em especial a construção de túneis.

4 — Não são considerados trabalhos a mais aqueles que sejam necessários ao suprimento de erros ou omissões, independentemente da parte responsável pelos mesmos.

Resumindo, os trabalhos a mais estão limitados a 5% do preço contratual, ou 25% para obras cuja execução seja afectada por condicionalismos naturais (dificilmente se inclui na maioria das obras). Por outro lado, a Directiva 2004/18/CE limita o valor absoluto dos trabalhos a mais, a 50% do preço contratual. É dito explicitamente que estas percentagens não incluem o suprimento de erros e omissões. Estes aspectos sublinham mais uma vez a necessidade de os erros e omissões em projecto serem reduzidos ao máximo.

Noutro exemplo de legislação, o **Regime Jurídico da Urbanização e Edificação** (RJUE) veio introduzir o conceito de coordenador de projecto, responsável pela compatibilização entre os vários projectos. Esse coordenador declara por escrito que os projectos são compatíveis entre si. Quando o arquitecto faz parte da equipa projectista, normalmente assume este cargo.

É criada a possibilidade de tramitação informática dos projectos. O processo passa a ser integralmente digital, incluindo os projectos. Esta modalidade começou a ser aplicada na Câmara de Lisboa, estando previsto o alargamento para os restantes Municípios do País.

Os procedimentos de licenciamento são também simplificados. A análise dos projectos (arquitectura, estruturas e especialidades) é feita apenas no início da obra, com a empreitada adjudicada. Assim, se houver incumprimento de algum dos muitos diplomas legislativos que regem a construção, o coordenador terá de assumir a responsabilidade dos atrasos e custos perante o cliente.

O **Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios** (RSECE) ou o **Regulamento das Características de Conforto Térmico dos Edifícios** (RCCTE) são exemplos de legislação referente a uma área emergente, as energias. Tratam-se de regulamentos com implicações

directas em projecto que merecem cada vez mais atenção e importância. A componente das medições é muito importante nestes regulamentos, logo, as ferramentas de medição automática figuram-se extremamente úteis nesta óptica.

Os regulamentos apresentados, não passam de exemplos para mostrar a necessidade de projectistas e empreiteiros se começarem a preocupar seriamente com as imperfeições dos trabalhos. Sem adoptar uma metodologia de projecto que garanta que se minimizem erros e omissões, assente num processo com elevado nível de automação baseado na informação fornecida ao sistema, torna-se muito complicado eliminar a componente de erro humano, aquando da verificação de conformidade dos projectos.

As consequências de erros e omissões são penosas tanto para quem projecta, como para quem recebe o projecto. Entrar em processos de indemnizações sucessivas pode mesmo significar falência se as empresas não tiverem dimensão para comportar as despesas decorrentes.

A legislação é extremamente rígida quando comparada com a grande parte dos outros países, facto que se percebe devido à falta de normalização em Portugal. Apesar de ser uma legislação com uma visão preventiva em vez de reactiva, não deixa de ter associado um grande risco especialmente para as pequenas empresas envolvidas em grandes obras, ainda para mais, quando se sabe que tanto em Portugal, como nos outros países, a maioria dos gabinetes tem uma dimensão reduzida (Krippahl 2008).

2.7. TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

2.7.1. TIC, DO TELEMÓVEL AO BIM

A informação tornou-se o recurso principal, capaz de nos permitir os melhores resultados no uso de outros recursos. A informação tem que ser gerida. (Allen and Hinks 1996)

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) ou Tecnologias de Informação (TI)[5] ocupam uma função especial nesta perspectiva.

As TIC podem ser definidas como todas as tecnologias que interferem e medeiam os processos informativos, comunicativos e linguísticos das pessoas. Podem ainda ser entendidas como um conjunto de recursos tecnológicos integrados entre si, que proporcionam, por meio das funções de hardware, software e telecomunicações, a automação e comunicação dos processos de negócios, da pesquisa científica, e de ensino e aprendizagem.

Porquê o enfoque nas TIC? Veja-se a definição de literacia digital (Microsoft 2010):

A Literacia Digital visa ensinar e avaliar os conceitos e competências básicas em informática, de modo a que as pessoas possam utilizar a tecnologia informática na vida diária para desenvolver

[5] É frequente os termos serem usados para definir as mesmas situações, sendo que, o critério de utilização de um ou de outro termo não é claro, dando a sensação que, na maior parte das vezes, é na verdade aleatório. TIC aparece frequentemente associado mais aos processos de aprendizagem, enquanto TI aos processos de gestão da informação numa perspectiva empresarial. Na verdade, o conceito de TI é mais antigo e a base para o conceito de TIC. A evolução dos meios de comunicação e a crescente importância do recurso informação levou à cada vez mais forte ligação entre as duas áreas, pelo que a dada altura, foi com naturalidade que a partir do conceito de TI, surge o conceito de TIC.

novas oportunidades sociais e económicas para si próprias, para as suas famílias e para as suas comunidades.

Novas oportunidades. Num mundo cada vez mais competitivo, onde os avanços progressivos da tecnologia são velozes e exponenciais, torna-se essencial explorar as novas oportunidades à disposição. O sector da construção não foge a esta realidade. Mais, a grande quantidade de informação produzida e o elevado número de intervenientes no processo construtivo, cria a necessidade de meios eficazes para organização e optimização dos recursos, bem como para a comunicação.

Genericamente, algumas aplicações das TIC ao sector da construção têm por finalidade (Langford and Retik 1996):

- Visualização
- Comunicação
- Integração
- Automação

A introdução das TIC na construção visa fundamentalmente os seguintes aspectos (Fonseca 2008):

- Aumentar consideravelmente as comunicações e trocas de dados a curta, média e longa distância;
- Obter ferramentas para tratamento e processamento de dados;
- Gestão da informação;
- Obter um ou mais sistemas de consulta de informação - repositórios;
- Obter meios para validar os trabalhos e estudos feitos;
- Libertar a mão-de-obra de certos trabalhos, através da automação de processos, dando mais espaço à inovação e criatividade;
- Aumentar a produtividade dos processos;
- Ganhar vantagem competitiva sobre a concorrência;
- Ir ao encontro das expectativas dos clientes e fornecedores;

Dependo da estratégia da empresa, os impactos das TIC na indústria da construção podem ser da seguinte natureza (Nascimento and Santos 2001):

- Centralizar ou descentralizar a gestão e decisão na empresa, possibilitada pelo aumento da capacidade de processamento de informação e pela redução dos custos de comunicação e coordenação;
- Diminuir ou aumentar a hierarquia organizacional das empresas, possibilitada pela automatização de algumas funções, pela melhoria da comunicação e pela redução das demoras e distorções associadas ao fluxo de informação entre níveis;
- Registo de grandes melhorias na reunião, armazenamento, análise e partilha de informação;

As TIC apresentam-se assim como boas ferramentas de gestão e partilha da informação, com potencial impacto a nível organizacional. É seguro afirmar que as três TIC mais utilizadas são, a internet, o telefone (ou telemóvel) e o computador (e suas aplicações básicas, como processador de texto, folha de cálculo e base de dados) seja ele portátil ou de mesa. Estas três TIC não só se apresentam como as mais importantes, como são na verdade indispensáveis a qualquer gabinete e ou profissional envolvido na concepção e/ou gestão da informação.

A evolução registada pela internet nos últimos anos, e por evolução, entende-se o grande número de aplicações e funcionalidades criadas a partir da internet, destaca-a das outras duas TIC[6]. Entre essas funcionalidades, destacam-se:

- Correio electrónico
- *World Wide Web*
- Acesso remoto
- Colaboração
- Arquivo de ficheiros
- Difusão de média
- Comunicação

TIC representa um termo bastante genérico quando comparado com a quantidade de ferramentas incluídas neste grupo. Veja-se então uma listagem de algumas das mais relevantes:
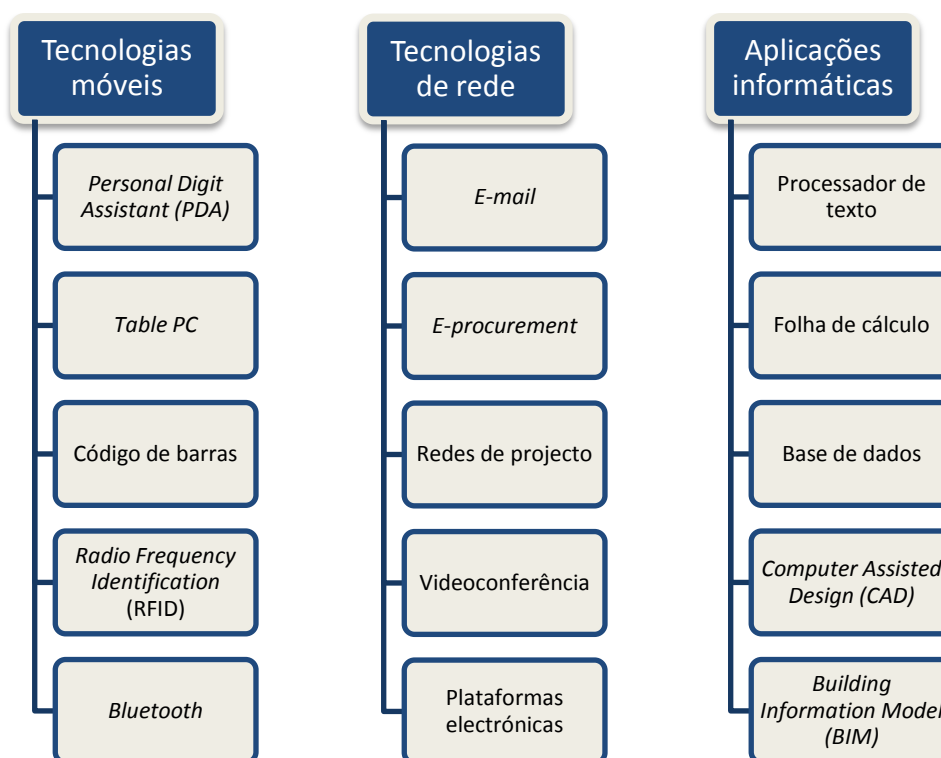
Fig. 2 - Exemplos concretos de TIC, divididas por grupos

Dos três grupos, as aplicações informáticas, mais propriamente os BIM, representam as TIC que se enquadram no âmbito deste trabalho, pelo que serão alvo de um estudo aprofundado nos capítulos mais à frente. As restantes ficam aqui assinaladas, sendo que, análises mais profundas são remetidas para consulta na bibliografia (Bruçó 2009), (Fonseca 2008).

[6] Embora na maior parte das vezes se aceda à internet por computador, é possível fazê-lo de outras formas, tornando a TIC internet independente da TIC computador. A referência à TIC computador é no contexto das funções acima descritas para a mesma.

2.7.2. IMPACTO E PRODUTIVIDADE DAS TIC NAS EMPRESAS

A implementação de TIC representa um meio para atingir o fim de melhorar os índices de produtividade, qualidade e eficiência. Um estudo consultado (e-Business W@tch 2006) revela que a dimensão da empresa influi no impacto sentido nos diferentes níveis:
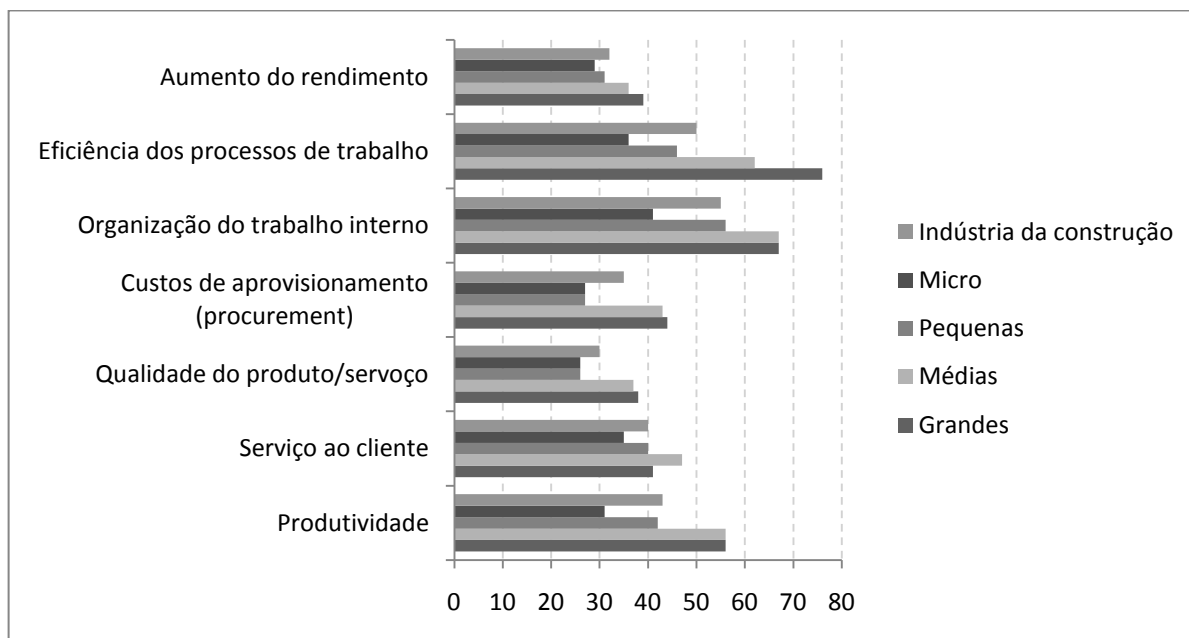
Fig. 3 - Influência positiva das TIC sob diferentes ópticas da actividade (e-Business W@tch 2006)

Pela análise dos dados da figura 3, percebe-se que a influência positiva das TIC nas empresas, se faz sentir sobretudo internamente, a nível de eficiência, organização e produtividade dos processos de trabalho, com as grandes empresas a beneficiarem a uma escala maior.
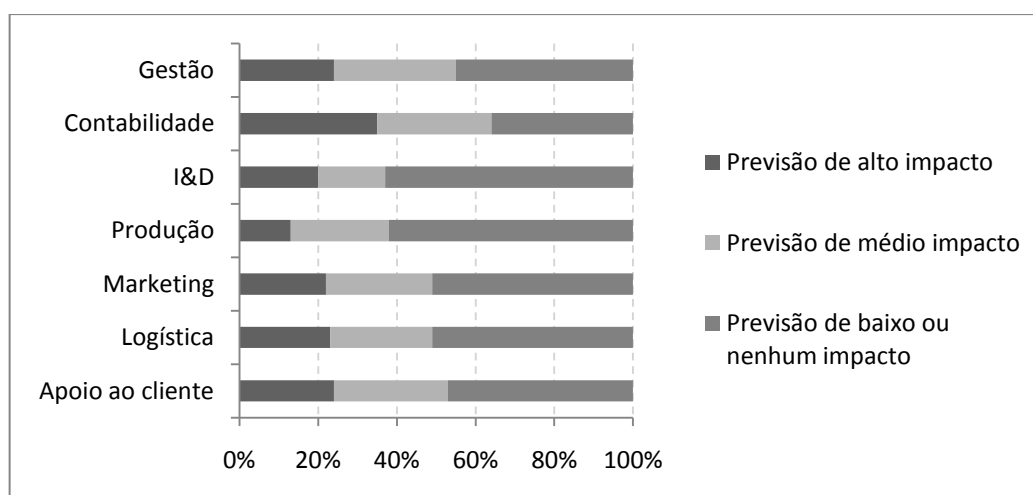
Fig. 4 - Previsão do impacto em termos de competitividade e produtividade das TIC nas diversas áreas das empresas de construção na Europa em 2005 (e-Business W@tch 2006)

Como se pode ver na figura 4, o estudo antecipa um impacto futuro não muito significativo das TIC nas empresas do sector da construção, embora seja interessante verificar um aumento expectável da influência das TIC nos processos não produtivos, sobretudo a nível da contabilidade. Por outro lado, o

reduzido impacto expectável a nível de produção e investigação e desenvolvimento (I&D), áreas de interesse em termos competitivos, não deixa de ser algo surpreendente (e-Business W@tch 2006).

Para contrariar as perspectivas de estagnação de produtividade vistas, sugere-se a aplicação das seguintes medidas (Fonseca 2008):

a) Consciencialização dos benefícios e do potencial das TIC

b) Actualização/formação das competências de TIC, aumento da qualificação do pessoal, contratação de pessoal mais qualificado

c) Aumento do investimento em TIC

d) Utilização de internet de banda larga

e) Utilização de software livre

f) Mudança de uma comunicação com base em e-mails para uma comunicação baseada em espaços colaborativos

g) Responsabilização dos trabalhadores através da comunicação por escrito

h) Aplicação de TIC para o alcance de vantagem competitiva

i) Desenvolvimento de estratégias para aplicação das TIC

j) Alteração da estrutura convencional de operações (reengenharia de operações)

3
MODELOS DE INFORMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

3.1. CONCEITO DE INFORMAÇÃO

O termo informação tem um âmbito muito alargado. Já que a informação pode estar associada às mais diversas áreas e pode ser interpretada de diversas formas, é importante desmistificar o conceito por trás da mesma.

A etimologia da palavra informação vem do latim *informatio*, *onis*, ("delinear", "conceber ideia"), ou seja, dar forma ou moldar na mente, como em educação, instrução ou treino.

Informação pode definir-se como sendo o resultado do processamento, manipulação e organização de dados, de tal forma que represente uma modificação, quantitativa ou qualitativa, no conhecimento do sistema que a recebe, seja ele, pessoa, animal ou máquina. Enquanto conceito, carrega uma diversidade de significados, do uso quotidiano ao técnico.

A análise de informação, juntamente com a própria natureza humana, enquanto ser pensador, leva à obtenção de ideias ou noções de algo, ainda que não seja claramente definido. Quando estas ideias são verdades justificadas, então constituem conhecimento.

A experiência acumulada em situações passadas, quando traduzida em conhecimento, ou seja, em informação concreta, constitui sabedoria.

Falou-se em dados, informação, conhecimento e sabedoria. Estes são os aspectos que constituem o modelo DIKW (do inglês *Data – Information – Knowledge – Wisdom*), o qual se apresenta como uma das formas esquemáticas de definir o conceito de informação.

No que diz respeito às tecnologias da informação, a grande preocupação, mais do que produzir informação ou conhecimento, está na sua gestão, transmissão e partilha, dentro de uma estrutura organizada (Poças Martins 2009).

3.2. CONCEITO DE MODELO

3.2.1. EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE DESIGN E MODELAÇÃO

Desde as origens do design de construção, até à actualidade, registou-se uma grande evolução tecnológica que naturalmente implica alterações profundas dos processos de trabalho.

Na origem do design, está o lápis e papel. O desenho linha sobre linha, por vezes intencional, outras vezes por acaso, é segundo arquitectos mais experientes, o processo segundo o qual a arquitectura emerge (Krippahl 2008). Associada a esta noção, está a exploração do lado humano criativo. Na falta de outras ferramentas, também este método era usado para a concepção do design pormenorizado, a nível das diferentes especialidades, arquitectura, estruturas e instalações. Claro está que, tal como a falta de exactidão do processo e a falta de limites e fronteiras serve para dar azo à criatividade, também deste modo se torna mais difícil projectar com rigor e exactidão, sem erros e conflitos. Outro grande problema é a visualização tridimensional. Para ultrapassar esta barreira, surgem as maquetas feitas à mão. Claro que, o problema da exactidão e do rigor subsiste, de modo que, tal como o design à mão, também esta actividade escultural, tem como propósito maior a visualização aproximada ao produto final. No entanto, como foi dito, à falta de outras ferramentas, assim se modelou na construção, nos últimos 500 anos.

Desde a década de 50 que os computadores são utilizados na engenharia, sobretudo em aplicações matemáticas e aplicações de apoio ao *procurement* (procura da melhor solução de mercado) e à facturação (Eastman 1999). As primeiras aplicações tecnológicas de desenho assistido por computador, CAD (*Computer Aided Design*), surgiram a partir da década de 70. Os avanços tecnológicos das décadas de 80 e 90 permitiram entretanto a expansão do mercado deste tipo de aplicações (Poças Martins 2009).

A indústria da construção não foi excepção. As potencialidades de representação (bidimensional) rigorosa, aliada à grande capacidade de armazenamento e organização dos computadores, criaram um novo paradigma na arte de conceber um projecto de design. A passagem do projecto analógico para o digital foi à primeira vista tranquila.

É importante desmistificar o conceito de projecto digital na perspectiva da construção. Porque a concepção continua a ser feita, numa fase inicial, utilizando as ferramentas antigas de papel e lápis, e só depois, a formalização dos desenhos finais é feita utilizando as ferramentas informáticas CAD, o projecto não é na verdade totalmente digital. Mais, é frequente atribuir o processo de digitalização dos desenhos à mão, a desenhadores CAD ou estagiários de arquitectura ou engenharias consoante a especialidade (Krippahl 2008), logo, o design não pode ser totalmente compatível com a representação informática, visto que foi feito segundo uma abordagem menos rigorosa e limitada.

A consolidação da realidade dos CAD na construção, permitiu passar para um patamar superior, introduzindo relações paramétricas entre linhas, planos e sólidos ou objectos e ao mesmo tempo integrar informação num modelo do edifício. É este o cerne do conceito de modelo de informação (BIM). Os primeiros modelos surgiram na década de 70 e funcionavam como formatos de representação padrão de produtos da construção, no entanto, estes modelos não interagiam, em geral, com as aplicações CAD de uso generalizado no sector da construção, pelo que a aceitação por parte da comunidade técnica não foi generalizada, nem tão pouco constituída um padrão de utilização (Poças Martins 2009).

3.2.2. Modelos de dados e modelos de informação

Antes de entrar no domínio da construção, é pertinente esclarecer o conceito geral de modelo de informação. Veja-se a seguinte definição (Lee 1999):

Em termos de engenharia de software, um modelo de informação define-se como a representação de conceitos, inter-relações, conflitos, regras e operações para especificação de dados relativos a um domínio em particular, abordando os seus requisitos de informação, de forma partilhada e estável, segundo uma estrutura organizada.

De acordo com o *Northern European Subset Group* (NES 2007), existem vários objectivos por trás de um modelo de informação. A consistência e robustez do modelo devem ser asseguradas, de modo a permitir a definição e aplicação das regras inerentes. A manutenção deve ser fácil e automaticamente propagável, de modo a que as correcções sejam introduzidas uma única vez e que as actualizações se procedam suavemente. Fácil deve ser também a interpretação, para que a experiência não seja exclusiva aos verdadeiramente instruídos, mas antes partilhada por todos. Os produtos ou outputs devem estar perfeitamente definidos e claros, bem como a maneira de os produzir e apresentar. Por outro lado, todo o tipo de documentação à volta dos outputs, deve ser automaticamente gerada. Por fim, devem ser definidos os elementos normativos do modelo de informação, devido à obrigatoriedade de os mesmos serem considerados.

Os conceitos abstractos e gerais por trás de um modelo de informação são depois aplicados mais especificamente nas diferentes áreas e indústrias, como por exemplo, na automóvel, na electrónica ou na construção.

Esta transição ou passagem entre uma fase geral e uma fase mais específica, é importante no sentido de perceber que os modelos de informação são pensados de forma a trabalhar os formalismos do domínio em questão, sem limitar ou constranger o modo como essa descrição é mapeada, na implementação para uma aplicação informática (Lee 1999). Assim, para um determinado mapeamento, ou por outras palavras, para um dado modelo de dados, podem utilizar-se diferentes linguagens de programação para converter o modelo numa aplicação em concreto.

O conceito de modelação de dados é definido por (Ambler 2010), como o acto de explorar estruturas de dados, com o objectivo principal de suportar o desenvolvimento de sistemas de informação, através da definição e formatação da informação.

Um modelo de informação não é um tipo de modelo de dados, mas antes um modelo alternativo. As definições de ambos conceitos são parecidas, pelo que, o que na realidade separa os dois conceitos, é o facto de o modelo de informação ser utilizado para modelos individuais e específicos, como para fábricas ou edifícios, restringindo assim o foco do modelo, enquanto um modelo de dados, apresenta uma estrutura tal, que não é limitada por um foco num domínio.

Segundo (West and Fowler 2003), se os processos de execução dos modelos, forem feitos de forma consistente, então é mais fácil atingir a interoperabilidade entre os sistemas. Porque se independentemente da linguagem de programação, um mesmo modelo de dados estiver por detrás da estrutura de dados, então as diferentes aplicações, ainda que com diferentes linguagens, podem aceder e partilhar os dados entre si. Contudo, na realidade este facto não se verifica, sobretudo, devido a dois aspectos. Os custos dos sistemas e interfaces, e a qualidade das próprias bases de dados no âmbito de uma área específica, pois uma estrutura pode adequar-se a uma área e a outra não, actuando como um factor de conflito em vez de suporte.

Um modelo de dados engloba três perspectivas diferentes e individuais, as quais representam as maneiras como os modelos poderão ser utilizados na prática (Ambler 2010):

- **Modelo de dados conceptual**

  Esta perspectiva aborda os domínios suportados pelos modelos, encontrando-se a um nível elevado em termos da organização estrutural, ou por outras palavras, encontra-se no núcleo do modelo. Deste modo, o modelo conceptual define o foco e as expressões utilizadas no modelo, limitando o âmbito do modelo pelos mesmos parâmetros. Idealmente, o número de objectos associados a este modelo deve ser limitado aos conceitos chave e não deve ser muito extenso e aprofundado.

- **Modelo de dados lógico**

  Esta perspectiva procura explorar os conceitos de cada um dos domínios, bem como as inter-relações entre eles, ou seja, procura retratar as entidades lógicas tipo que constituem o domínio, os atributos que as descrevem e as relações entre elas. Na prática, a estrutura deste modelo consiste em descrições de tabelas e colunas, classes de objectos, textos em XML, entre outras.

- **Modelo de dados físico**

  Esta perspectiva descreve os meios físicos segundo os quais se armazenam os dados, sejam em CPU, discos rígidos, partições, entre outras. Por outro lado, estes modelos são utilizados para conceber a estrutura interna da base de dados, através de tabelas e colunas de dados e respectivas relações. Semelhante ao modelo anterior, o modelo de dados físico vai no entanto um pouco mais além, apresentando maior detalhe no que diz respeito às relações entre entidades (tabelas, colunas, etc.) através da especificação das entidades chave necessárias para associar e manter as relações entre os elementos. Esta diferença é facilmente verificável pela distinção entre um modelo lógico e um modelo de dados físico, como se pode ver na figura abaixo:
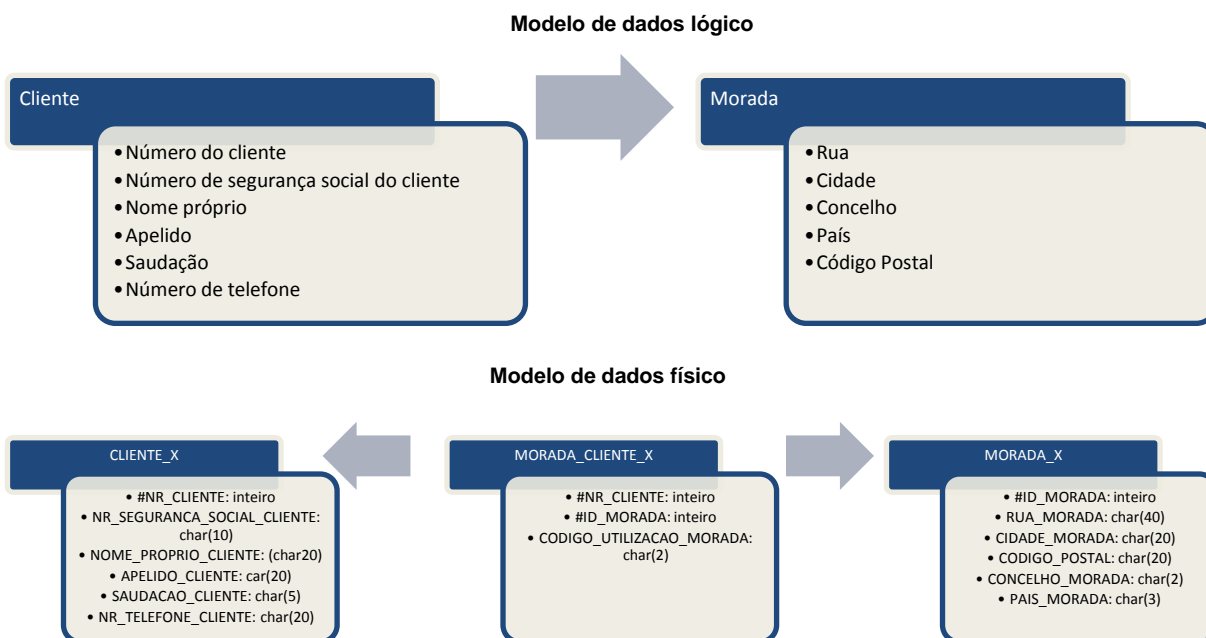
Fig. 5 - Comparação entre a estrutura de um modelo de dados lógico e de um modelo de dados físico (Ambler 2010)

Ainda segundo (Ambler 2010), a modelação de dados de forma eficiente, pressupõe a execução das seguintes tarefas de forma iterativa:

1. Identificação das entidades tipo
2. Identificação dos atributos
3. Aplicação das convenções de nomenclatura
4. Identificação das relações
5. Aplicação dos padrões dos modelos de dados
6. Atribuição de chaves às entidades, atributos e relações
7. Normalização para redução da redundância de dados
8. Desnormalização para aumento de performance

Existem vários tipos de modelos de dados, cada um com diferentes formas de disposição e organização, ainda que, as entidades sejam as mesmas (tabelas, colunas e relações, de um modo geral). Aprofundar este tema, foge um pouco do âmbito do presente trabalho, no entanto, será pertinente apresentar uma listagem dos tipos, de modo a ganhar uma melhor consciência do que é um modelo de dados:

- Modelo de base de dados
    - Modelo plano
    - Modelo hierárquico
    - Modelo em rede
    - Modelo de relações conceptual
    - Modelo de relações em estrela
    - Modelo de relações de objectos
- Diagrama de dados estrutural
- Modelo entidade – relação
- Modelo de dados geográfico
- Modelo de dados genérico
- Modelo de dados semântico

3.2.3. MODELOS COMPLETOS E MODELOS PARCIAIS

A distinção entre modelos completos e modelos parciais é fundamental para o estudo realizado neste trabalho. Mais, a importância estende-se ao público ou mercado alvo do tipo de ferramentas informáticas concebidas a partir destes conceitos.

Se por modelo completo, entende-se um modelo capaz de englobar toda a informação da construção num só ponto, então a noção não é verdadeiramente correcta. Pensando bem na quantidade de informação presente ao longo do processo construtivo, não se pode esperar que toda ela possa ser tratada utilizando apenas uma única ferramenta.

É verdade que um dos chamativos da adopção de tecnologias BIM, é ultrapassar os problemas de dispersão da informação, através da sua integração num modelo, no entanto, não se pode esperar que um único modelo seja capaz de funcionar com todas as especificidades das diferentes áreas da construção, um pouco à imagem do que acontece com um Engenheiro Civil, que apesar de ser formado para ter noções nas várias áreas da construção, em determinado ponto, envereda por determinado caminho, para obter um conhecimento mais especializado. Claro que, é possível argumentar que um computador tem uma maior capacidade de armazenamento do que o cérebro humano, logo, tudo o que seria necessário fazer seria adicionar as especialidades ao computador e

programá-las para trabalhar em conjunto. Mas para tal ser viável, seria necessário que esse modelo representasse um standard, e que o seu desenvolvimento fosse um esforço conjunto e contínuo. Porque para tal esforço ser sustentável (para não falar rentável), a utilização do tal modelo completo deveria ser uma imposição, de forma a criar um incentivo extensível a todos os agentes de concepção e produção envolvidos, de modo a que o desenvolvimento de tudo o que se lhe fosse relacionado, apontasse num único sentido. Por outro lado, convém referir que quanto mais completo o modelo for, mais complicado será importá-lo para uma aplicação, devido às limitações de hardware, sob pena de a aplicação não conseguir correr por falta de capacidade de processamento ou memória.

Olhando para o mercado actual, fortemente motivado por políticas de competitividade, percebe-se que são estas, as grandes impulsionadoras do desenvolvimento e do progresso. O ganhar vantagem sobre a concorrência. A procura da melhor solução para obter o monopólio. Assim, um esforço conjunto vai contra esta mesma tendência. Daí a predominância dos modelos parciais, sobre os modelos completos.

Aprofundando um pouco o conceito de modelos completos e modelos parciais, veja-se os dois tipos de abordagens de desenvolvimento, associadas a cada um dos modelos (Behrman 2002):

- **Abordagem minimalista**

A abordagem minimalista, característica dos modelos parciais, valoriza formatos simples e facilmente adoptáveis pela comunidade técnica. Para tal, os processos de desenvolvimento visam sobretudo a experimentação, teste e as melhorias sucessivas (e iterativas) do trabalho previamente desenvolvido. O objectivo é que a implementação dos formatos e/ou modelos seja rápida e uma vez conseguida, parte-se para uma etapa seguinte do processo de desenvolvimento, pelo meio de simples actualizações ou adições substanciais. De qualquer modo, perpetuando o desenvolvimento dos formatos e/ou modelos. A abordagem minimalista representa uma abordagem *bottom-up*, no sentido em que a origem do modelo remonta a um problema, sendo a partir daí, adicionados os elementos necessários para a definição do problema e sua solução. Exemplos de formatos abordados segundo estes princípios, são entre outros o formato HTML, a linguagem de programação C, ou a linguagem de base de dados SQL.
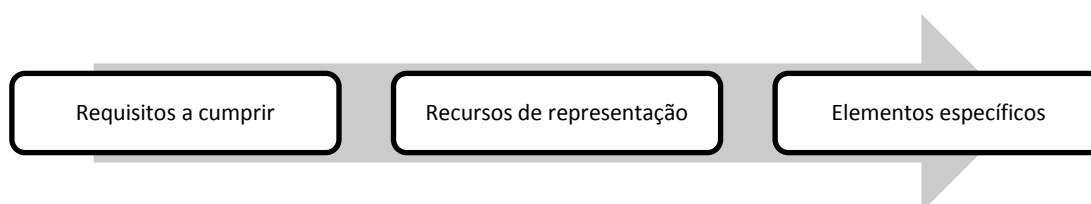
Fig. 6 - Esquematização de uma abordagem minimalista, do tipo *bottom-up*

- **Abordagem estruturalista**

A abordagem estruturalista, característica dos modelos completos, valoriza formatos exaustivos e densos. A abordagem do tipo *top-down*, começa por introduzir uma gama alargada de ferramentas e elementos de modelação, necessárias para as diversas áreas, de modo a abranger o maior número possível de ramificações das actividades da construção, e só depois numa fase mais avançada, se começa a especificar os domínios de aplicação. Tais processos, são como seria de esperar bastante exaustivos e demorados, já que será quase impossível abranger toda a informação existente, à luz do que foi dito anteriormente neste subcapítulo. Exemplos de formatos que seguiram esta abordagem são entre outros, o *Open Systems Interconnection* (OSI), a *Integrated Services Digital Network* (ISDN) e o STEP (ver 3.3.1).
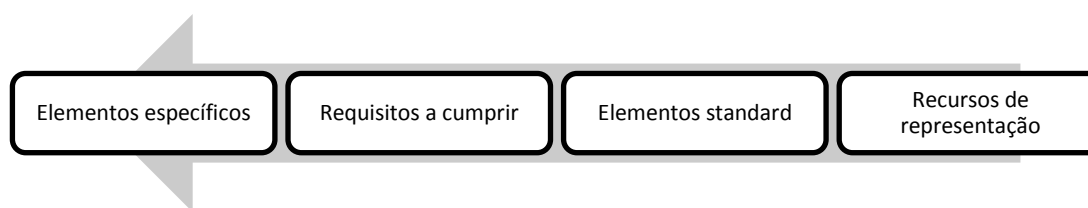
Fig. 7 - Esquematização de uma abordagem estruturalista, do tipo *top-down*

A distinção entre as abordagens efectuadas aos dois modelos mostra claramente as diferenças principais que os separam. Os modelos parciais, com um período de desenvolvimento e validade mais curto, representam formatos constantemente renováveis, pensados para os utilizadores, com vista à resolução de problemas específicos. As ferramentas adaptam-se ao problema. Não é portanto de estranhar que este tipo de modelos seja bem aceite pela comunidade técnica. A questão da interoperabilidade (e falta dela) afigura-se como a grande desvantagem deste tipo de modelos. A rapidez e independência no desenvolvimento dos modelos parciais, é uma faca de dois gumes, já que por um lado permite facilmente criar vários sistemas em simultâneo, mas por outro, dá origem a problemas na interface entre eles.

Os modelos completos por outro lado, são pensados exactamente para evitar situações deste tipo, contudo, trazem consigo algumas desvantagens, cuja natureza prejudicial e incontornável, os tornam menos viáveis. De facto, o cariz abrangente destes modelos obriga à introdução de uma vasta gama de ferramentas de modelação, as quais, devem manter-se actualizadas, não só em termos de versão, como também de nível de inovação (aparecimento no mercado), sendo que, tais ferramentas teriam depois de ser validadas. Assim, este tipo de intervenção implica processos extremamente exaustivos e extenuantes. O consumo de tempo associado ao desenvolvimento é também um problema, tendo em conta a própria necessidade em manter o modelo actualizado, salientando assim a dificuldade do modelo em acompanhar o ritmo de desenvolvimento das soluções construtivas. Se tal acontece, então o modelo é limitativo ou restritivo, logo deverá com grande probabilidade vir a condicionar a implementação de soluções construtivas que não sejam devidamente suportadas pelo modelo (Poças Martins 2009).

3.3. Building Information Model (BIM)

3.3.1. Definição e conceito de BIM

O acrónimo BIM, do inglês *Building Information Model* ou *Building Information Modeling*, não tem tradução directa para português. Variando consoante o autor, traduções como MIC (Modelo de Informação para a Construção) (Poças Martins 2009) ou MIE (Modelo de Informação do Edifício) (Autodesk 2007) deixam antever à partida a natureza da sua definição, que tal como o nome, varia de autor para autor. Veja-se uma das definições encontradas (Ashcraft and Hanson 2007):

Um Building Information Model, ou BIM, utiliza tecnologia digital de ponta para estabelecer uma representação computorizada das características físicas e funcionais de um edifício, bem como de toda a informação relacionada com o seu ciclo de vida, pretendendo ser um repositório de informação a usar durante todo o mesmo ciclo, pelos vários intervenientes.

Na definição encontram-se comprimidos os vários conceitos por detrás dos BIM. É utilizada tecnologia bastante avançada para proceder à modelação do edifício através de uma aplicação informática, que integra e interliga a informação referente ao ciclo de vida do edifício, o que significa

que além de ser possível criar um modelo muito aproximado do resultado final pretendido e facilmente se poder aceder a qualquer informação, referente a qualquer fase da obra, também se pode diminuir consideravelmente os problemas de compatibilização da informação, que frequentemente levam a erros e conflitos. Mais, integrar e interligar a informação significa potencial para visualizar, simular e optimizar a informação. Por outro lado, é possível associar o modelo aos processos de fabrico de peças e materiais, de modo a reduzir a repetição de informação, que por vezes dá origem a erros (Ashcraft and Hanson 2007).
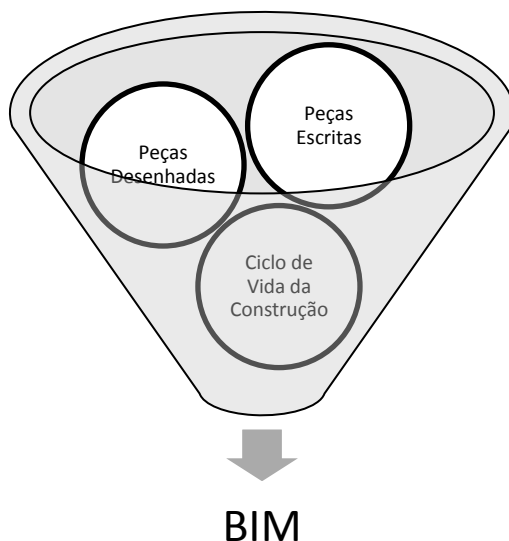
Fig. 8 - Esquematização generalista dos possíveis conteúdos de um BIM

3.3.2. Potencialidades do modelo

Quando se trata de enumerar as vantagens dos BIM, é de certo modo fácil encontrar um vasto leque de benefícios. Os BIM são uma tecnologia de tal forma promissora que se pode afirmar que quaisquer esforços no sentido de melhorar a gestão de informação devem ser enquadrados num modelo de informação (Poças Martins 2009).

De seguida, apresenta-se uma lista genérica dos benefícios da utilização dos BIM na perspectiva da indústria da construção (El-Desouki 2005):

- Pesquisa e obtenção eficientes de documentos específicos;
- Propagação de alterações rápida e directamente;
- Automatização de fluxos de trabalhos;
- Compilação da informação relevante;
- Integração de processos de produção e de gestão documental que resultam numa economia de esforços ao nível administrativo;
- Simplificação da recolha produzida em projectos anteriores ou provenientes de fontes de informação externas;
- Criação de condições favoráveis para a realização simultânea do trabalho de diversos projectistas, resultando em prazos mais curtos para o desenvolvimento de projectos;
- Eliminação da introdução repetida de dados, evitando-se os erros associados;
- Redução de esforços redundantes relacionados com a repetição de tarefas de projecto e com as verificações das especificações elaboradas;

- Aumento de produtividade devido a uma partilha de informação mais rápida e isenta de ruído;
- Simplificação da introdução de modificações em projectos;
- Melhoria da cooperação interdisciplinar;

Interessa agora analisar em detalhe, algumas das características funcionais dos BIM, que dão luz aos benefícios em concreto (Ashcraft and Hanson 2007):

- **Modelo paramétrico**

O conceito de paramétrico está associado à interligação da informação. À influência indirecta de alterações em elementos. Tal como as deformações numa laje, causam efeitos de 2ª ordem nos pilares, também neste tipo de modelo, alterar propriedades de elementos, significa criar efeitos de 2ª ordem noutros elementos.

Para melhor perceber esta característica, é conveniente pensar nos modelos poligonais existentes, baseados de uma maneira geral em CAD. É um erro comum pensar que os BIM não passam de modelos CAD em 3D, quando a verdade é que estes são anteriores aos BIM. Um modelo 3D possibilita de facto vistas tridimensionais de um edifício, sendo frequentemente utilizados para resolver problemas de perspectivas ou pormenores de elevado grau de complexidade. No entanto, as suas capacidades não vão além da disposição das propriedades físicas e geométricas dos elementos.

No modelo BIM, porque a informação se encontra interligada, as interfaces e relações espaciais entre elementos encontram-se inseridas no modelo, logo, alterações em partes do modelo, terão consequências sobre as restantes, pois todo o modelo será automaticamente ajustado.

Este conceito é fácil de compreender considerando as duas maneiras de modelar. Num modelo poligonal tradicional assente em ferramentas tradicionais CAD, todas as características são introduzidas manualmente, ou seja, em qualquer dos desenhos, sejam eles plantas, alçados, cortes ou pormenores, todos os pontos e linhas são introduzidos manualmente. As relações geométricas entre elementos do desenho, como paralelismo e perpendicularidade, são dadas pela aplicação, no entanto, o desenho em si não absorve tais propriedades. Apenas as dispõe. Logo, eventuais alterações não terão consequências indirectas. Já num modelo BIM, a modelação é por assim dizer inversa, ou seja, o desenho nasce num "bloco" totalmente deformado, criado de forma aleatória e pela introdução de novos elementos no "bloco", estabelecendo sempre as relações paramétricas com o modelo principal, obtêm-se o modelo final de onde são automaticamente retirados os *renderings*, leia-se as vistas ou desenhos, dos elementos pretendidos, na fase pretendida.

- **Modelação orientada para os objectos**

Uma das características dos modelos de informação é o facto de disponibilizarem as ferramentas para a modelação e integração de objectos no modelo do edifício através do estabelecimento de ligações com outros objectos.

Por outro lado, com a noção de modelo paramétrico ainda em mente, também a situação inversa constitui uma função básica, ou seja, será relativamente fácil retirar objectos do modelo.

Considerando um modelo tradicional baseado numa ferramenta CAD, algo como retirar um pilar e recalcular toda a estrutura pode ser penoso face à quantidade de ligações e de informação passível de ser afectada. Por calcular, entende-se acima de tudo o acto de rearranjar toda a estrutura em termos gráficos, já que o cálculo estrutural teria necessariamente de ser feito, qualquer que fosse a

situação. Num BIM, todo este processo é dramaticamente facilitado, já que não precisa de ser feito manualmente. De facto, o próprio modelo encarrega-se de o fazer, podendo depois o resultado final ser o ponto de partida para o recalculo estrutural.

- **Interoperabilidade**

Por interoperabilidade entende-se a capacidade de diferentes aplicações trocarem, usarem e editarem informação entre si, mediante a utilização de um standard que permita a respectiva interface.

Este ponto será desenvolvido mais à frente, contudo importa reter que, embora bastante importante, esta é uma área insuficientemente explorada no mundo da modelação. O modelo IFC é actualmente o expoente máximo do esforço levado a cabo por diversas entidades para evoluir neste campo.

- **Simulação "nD"**

"nD" diz respeito ao âmbito dimensional do modelo. Espacialmente, este desenvolve-se segundo as três dimensões do espaço euclidiano. Contudo, a informação tridimensional pode estender-se ao longo do tempo. Considerando o facto que o modelo foi pensado para reflectir o processo construtivo, percebe-se que este terá forçosamente de sofrer alterações com o tempo, fruto da evolução natural da construção. O facto de o modelo possibilitar a visualização do modelo tridimensional em qualquer fase ao longo do tempo, implica que se considera uma quarta dimensão para o tempo, 4D. Na mesma óptica, sabendo que é possível associar custos ao modelo tridimensional e estando a análise económico-financeira associada às restantes quatro dimensões, surge a quinta dimensão para custos, 5D.

Integrar no modelo, aplicações para gestão de recursos e mão-de-obra, análise energética e licenciamento automático, entre outros, irão permitir expandir os limites actuais da utilização, daí o "nD".

3.3.3. VANTAGENS DO USO DOS BIM NO PROCESSO CONSTRUTIVO

As vantagens da utilização de um BIM variam consoante a fase do processo construtivo, pois cada fase representa realidades, objectivos e responsabilidades diferentes. A forma de trabalhar de cada um dos agentes da construção, é decisiva no processo de implementação dos BIM, e a sua influência não se limita ao âmbito pessoal, mas antes estende-se a todos os intervenientes na cadeia de valores.
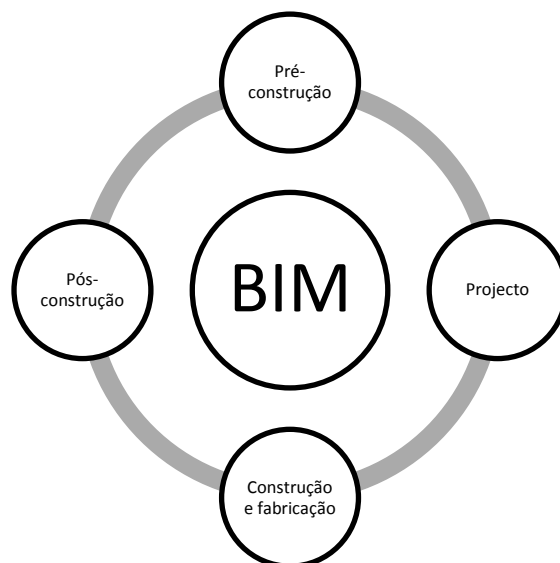
Fig. 9 - Integração dos BIM no ciclo de vida da construção

Perceber quais as vantagens provenientes da utilização dos BIM, não é suficiente para justificar a sua utilização, é necessário enquadrá-las no processo construtivo de modo a clarificar, quem beneficia e de que modo beneficia. A descrição que se segue tem por base os princípios explanados numa das publicações presentes na bibliografia (Eastman 2008), sendo no entanto necessário sublinhar que algumas das funções descritas, são baseadas em princípios teóricos e não em resultados verificados já na prática.

3.3.3.1. Pré-construção

Como foi visto, esta é a fase de viabilidade, planeamento e bases para o projecto. Os benefícios serão essencialmente para o Dono de Obra.

A capacidade dos BIM em produzir um modelo muito aproximado ao produto final, permite com bastante mais precisão, projectar as ideias e directivas do Dono de Obra, fornecendo uma visão holística da obra.

Este facto é muito importante por vários motivos. Em primeiro lugar, porque a análise de viabilidade financeira se figura como a mais indispensável e importante das tarefas nesta fase, associar custos ao modelo, permitindo uma orçamentação bastante precisa e realista, torna desde já a aplicação numa ferramenta valiosa.

A gestão das expectativas e recursos, é também deveras importante. Além dos custos, associar materiais e quantidades ao modelo, é extremamente útil deste ponto de vista, já que permite fazer um levantamento mais preciso dos requisitos. Em última análise, também estes aspectos serão tidos em conta, no levantamento feito no sentido de verificar se o orçamento será ou não cumprido.

Outro aspecto importante no que toca à fase de pré-construção diz respeito à performance e qualidade da obra. A aproximação ao produto final permite uma avaliação mais cuidada dos esquemas, de modo a determinar se os requisitos de funcionalidade e sustentabilidade são ou não cumpridos. De facto, ainda não estão disponíveis aplicações compatíveis com BIM, capazes de extrair automaticamente estes parâmetros, no entanto, a grande facilidade com que se extraem e interpretam esquemas do

edifício, bem como as ferramentas de medição incorporadas nas aplicações, permitem desde já aumentar a eficiência dos processos manuais de quantificação dos mesmos parâmetros.

A grande facilidade com que se introduzem alterações no modelo do edifício, permite criar um ambiente de simulação. No contexto desta fase da obra, este aspecto é bastante útil devido à necessidade de encontrar alternativas. De outra maneira, abordar este tipo de questão nesta fase do processo construtivo, torna-se extremamente penoso, já que exige bastante trabalho, o qual está mais associado à fase de projecto propriamente dita. No entanto, não é de estranhar que quanto maior e melhor o número de alternativas, mais competitiva será a ponderação das soluções existentes. Assim, o estudo de alternativas numa fase inicial da obra, usando um sistema de simulação/análise, contribui para um aumento geral da qualidade da obra.

3.3.3.2. Projecto

Tratando-se os BIM de uma ferramenta de projecto, não é surpresa que esta seja a fase que mais beneficia com a utilização das respectivas aplicações, pelo menos a curto prazo.

A visualização dos esquemas é uma área crucial do processo construtivo. Os esquemas ou desenhos, servem de base para muitas outras operações, seja a nível do projecto ou da execução. Como parte constituinte da memória descritiva, a ser utilizada em todo o processo construtivo por todos os que lhe estão associados, os esquemas assumem uma importância vital em cada obra. Produzir esquemas manualmente, é uma tarefa complicada, cuja dificuldade aumenta com a complexidade da obra. Por ser difícil, surgem frequentemente erros de desenho, que se podem traduzir em consequências negativas a nível de tempo e dinheiro. Na actualidade, se é verdade que os BIM não são ainda devidamente explorados, também é verdade que é precisamente para ajudar na área da visualização, que as aplicações BIM são mais procuradas. Do 2D ao 3D, do 3D ao 3D baseado num modelo paramétrico, todas estas perspectivas são necessárias na construção, no entanto, começar no modelo paramétrico e acabar nas perspectivas 2D, traz consideravelmente mais benefícios do que fazer o caminho inverso, ou apenas usar múltiplas visualizações 2D. A geração automática de desenhos 2D consistentes para as várias fases da obra reduz consideravelmente o tempo e os erros associados aos projectos.

As correcções automáticas das alterações representam um grande avanço na forma de encarar o projecto e mais especificamente, o desenho da obra. Gerir alterações é extremamente complicado, se estas estiverem distribuídas por vários documentos separados. A base de dados singular dos BIM, baseada num modelo gerido por regras paramétricas, assegura não só a correcta disposição das alterações introduzidas, directa e indirectamente, como também uma gestão mais rápida e eficaz das alterações e respectivas consequências, diminuindo as preocupações e tempo associados a esta tarefa.

Os BIM são ferramentas de colaboração. A base de dados única, em conjunto com a facilidade em visualizar, permite uma melhor comunicação entre os intervenientes do processo construtivo. Ora, colaboração e comunicação são precisamente dois dos factores mais abordados quando se discute a construção.

A colaboração das várias especialidades numa fase mais inicial da obra, baseada numa única base de dados coordenada, permite um trabalho simultâneo em várias frentes, o que resulta em maior compatibilização entre especialidades, menos erros e omissões e menos tempo de projecto.

A percepção mais adiantada, tanto de problemas como de oportunidades, reflecte-se numa melhoria contínua de projecto, de procedimentos e metodologias, bem como, de uma abordagem financeiramente mais eficiente do projecto, por oposição a esperar pelo fim do projecto, quando já

foram tomadas grandes decisões, para então fazer uma verificação, avaliação e revisão da qualidade e conformidade.

Da mesma forma que na fase de viabilidade, a possibilidade de criação de um modelo aproximado do produto final, permitia dar vida às ideias do Dono de Obra, também em fase de projecto, esta potencialidade serve para verificar a conformidade dos desenhos com as ideias iniciais. Interessa ver pois, alguns dos aspectos que justificam este facto:

- Modelação em 3D permite visualização tridimensional desde o inicio do projecto;
- Quantificação de áreas e quantidades de materiais, como ferramentas integradas no modelo, asseguram a verificação adequada da conformidade, sem erros de medição ou interpretação;
- Design quantitativo para edifícios técnicos, como hospitais e laboratórios, permite fácil verificação do cumprimento ou não dos requisitos;
- Avaliação automática de requisitos qualitativos, permite verificar facilmente a disposição de elementos e a sua relação com elementos vizinhos, bem como com o modelo completo do edifício;

A extracção de custos durante a fase de projecto, permite ajustar as estimativas orçamentais ao longo desse processo, possibilitando uma maior adaptabilidade do orçamento. O projecto é um processo contínuo, que à medida que evolui, vai-se tornando mais completo, mas também mais complexo. A facilidade com que se extraem custos, que refira-se, é feita de forma automática, pois a cada elemento poderá associar-se um custo, permite ir fazendo a estimativa orçamental à medida que o projecto evolui. Assim, na fase inicial, os custos são estimados em função da área projectada. À medida que o projecto evolui, vão sendo acrescentados objectos, pelo que a estimativa automática dos custos, também acompanhará essa evolução. Numa fase final, a estimativa será baseada nas quantidades para todos os objectos. O orçamento final do custo de construção será portanto muito próximo do orçamento final real. Este facto constitui um apoio bastante importante à decisão. Se é verdade que a fase de execução deve conferir com o que foi projectado, o facto de existir este tipo de informação na fase de projecto, impede futuras surpresas desagradáveis. Por outro lado, permite manter todas as partes interessadas informadas, nas fases intermédias do projecto, resultando num processo mais interactivo e em última análise, mais rápido e eficiente.

A eficiência energética e a sustentabilidade na construção, são áreas que tendem a ganhar cada vez mais importância, devido em parte à sua relação com as questões ambientais, mas também, pelo facto de as exigências de qualidade e conforto serem cada vez maiores. Os BIM possibilitam uma interface entre o modelo e ferramentas de análise energética, a partir das fases iniciais do projecto. Embora as aplicações mais usadas, ainda não forneçam uma forma automática de verificar a conformidade energética, o facto é que a facilidade com que se retira informação do modelo, nomeadamente medições e características técnicas dos materiais, torna este tipo de actividade mais acessível. Pelo contrário, nas aplicações CAD tradicionais, a análise energética é desenvolvida no fim do projecto, tornando quaisquer alterações mais difíceis de realizar. Há assim, menos oportunidades para melhorar a performance, pois tal requer trabalho extra que, ou não constitui uma prioridade e portanto é negligenciado, ou então, simplesmente não pode ser remunerado, sob pena de o orçamento não ser cumprido.

3.3.3.3. Construção e fabricação

O planeamento das tarefas, é uma actividade característica do inicio da fase de execução. Esta actividade, está directamente ligada ao projecto e como tal, é necessário sincronizá-lo com o

planeamento. Ora, a capacidade que os BIM têm de integrar o planeamento de tarefas no modelo, aliada à capacidade de integrar o modelo nas diversas fazes da obra, permite uma melhor sincronização projecto/planeamento de tarefas. Mais, a simulação e projecção dos processos a nível de estaleiro, ou seja, a introdução sucessiva de elementos na obra e a verificação das respectivas consequências, permite antever potenciais problemas e/ou oportunidades. Deste modo, é possível optimizar o estaleiro, ou seja, optimizar as actividades e relações das equipas de especialidades, optimizar o uso dos equipamentos, antever conflitos de espaços, prevenir certos problemas de segurança, entre outros.

Tradicionalmente, é em fase de execução que se detectam a maior parte dos erros e omissões de projecto, justamente na altura em que se vai realizar a respectiva actividade. Mais uma vez e à imagem do que se passou nas duas fases anteriores, também nesta fase, esse problema é drasticamente reduzido. De facto, sabendo que os empreiteiros detêm uma grande parte da responsabilidade por erros e omissões do projecto, após a sua recepção, percebe-se como ter uma ferramenta que permita acelerar e simplificar os processos de verificação, é de grande utilidade.

A base de dados dos BIM, comum a todo o processo construtivo, permite uma maior aproximação das várias especialidades, pelo que a verificação comparativa e sistemática das várias ligações é facilitada. Resultado, um processo construtivo mais rápido, custos mais reduzidos, disputas legais minimizadas, processos mais contínuos e fluidos. A coordenação entre projectistas e construtores também beneficia com o modelo. Pensa-se melhor o que fazer e faz-se melhor o que se pensou, portanto.

Se é verdade que os problemas e conflitos são reduzidos, também convém salientar que nunca é possível eliminá-los por completo. Logo, é necessário que a reacção aos problemas de projecto e estaleiro seja a mais rápida possível. As características de automação dos BIM, permitem introduzir rápida e eficazmente, quaisquer mudanças no projecto. O modelo paramétrico assegura o cruzamento da informação. As mudanças são facilmente resolvidas e a informação partilhada, visualizada e estimada.

Uma das actividades importantes a realizar, em fase de execução, tem a ver com os contactos com os fabricantes e fornecedores. A capacidade de importar esquemas pré-fabricados directamente para o modelo facilita este tipo de comunicação. Porque o desenho de fábrica é sempre mais completo, importar directamente este tipo de representações para o modelo e compatibilizá-lo com o edifício, assegura a integridade quase ou completamente total do modelo de fábrica, o que é extremamente importante para uma adequada assemblagem e para o posterior comportamento do edifício. Em reverso, também as necessidades específicas são mais facilmente demonstradas aos fabricantes, que beneficiam da interactividade do modelo, para verificarem até onde podem ir na fabricação encomendada. Afinal, melhorar a fabricação fora de obra, também contribui para reduzir o tempo de obra.

Geralmente, os benefícios da utilização dos BIM reflectem-se a nível da redução de desperdícios e pelo aumento da colaboração e compatibilização entre actividades. Estes são os objectivos principais das metodologias *Lean* (ver 2.5). A *Lean Construction* requer grande e cuidada coordenação entre empreiteiro, equipas de controlo e planeamento, projectistas e tarefeiros, para assegurar que os recursos necessários, estão sempre disponíveis antes do inicio das respectivas tarefas, de modo a evitar desperdícios de tempo de paragem e esforço, bem como, para reduzir os inventários em obra. A capacidade do modelo em fornecer esquemas detalhados das necessidades de recursos para cada segmento ou tarefa constitui a base para um planeamento melhorado, tarefas mais eficazes, contratação de subempreitadas de forma atempada e a presença "*just in time*" de tarefeiros, materiais e

equipamentos. Deste modo, a melhoria dos processos de trabalho através do aumento de eficácia e da colaboração, traduz-se numa redução de desperdícios, custos e prazos.

O *procurement*, ou seja, a procura pela melhor solução possível no que diz respeito aos recursos necessários à execução da obra, assume uma grande importância na gestão dos custos da construção. A sincronização do *procurement* com o projecto e a construção é facilitada pela utilização dos BIM, já que o modelo possibilita a adequada quantificação de materiais. A capacidade de definir as exigências de materiais directa e automaticamente a partir do modelo ainda não é uma realidade, no entanto, este pode já ser usado de forma indirecta, ou seja, retirar quantidades e depois interpretá-las posteriormente, com resultados satisfatórios.

3.3.3.4. Pós-construção

Os benefícios do uso dos BIM nesta fase passam por melhorar a utilização e a manutenção, já que a informação utilizada no modelo, referente a materiais, equipamentos mecânicos e eléctricos, sistemas de controlo e outros equipamentos implementados, poderá ser posteriormente consultada para verificar se o edifício está a funcionar de forma eficiente. Por outro lado, a utilização é melhorada já que é possível utilizar o modelo como uma espécie de manual de utilização, mais completo, pormenorizado e interactivo, do que se fosse produzido somente a partir da documentação técnica. A manutenção é também deste modo facilitada, já que se pode trabalhar directamente com o modelo de origem.

Do ponto de vista promocional, também se retiram benefícios do uso dos BIM, visto ser mais fácil comunicar com o público-alvo, já que é mais fácil demonstrar não só as questões relacionadas com o aspecto ou o espaço, mas também questões referentes à eficácia do edifício.

3.3.4. Implementação dos BIM nas empresas

3.3.4.1. Representatividade

O grande número de vantagens teóricas da utilização dos BIM, tornam este tipo de ferramentas extremamente apelativas, no entanto não basta fazer uma análise exclusivamente sobre este prisma. Mais do que avaliar eventuais adversidades associadas à ferramenta, é necessário contextualizar toda a informação reunida nos cenários onde será inserida.

Muitos dos casos de estudo disponíveis para consulta, baseiam-se em experiências muito específicas. Tomando um estádio de futebol como exemplo, a grande complexidade de um empreendimento desta natureza, torna-o ideal para aplicar as grandes potencialidades de visualização e reunião de informação que os BIM disponibilizam. No entanto, este não é claramente um caso representativo da maior parte do volume dos projectos abordados por uma empresa.

Um exemplo verdadeiramente representativo deveria reunir em simultâneo o seguinte conjunto de condições (Poças Martins 2009):

- Introdução dos BIM deve ocorrer nas fases iniciais do projecto
- Apreciação de entidades licenciadoras deve incidir sobre os BIM
- Modelo deve ser usado como principal repositório de informação na fase de execução
- Modelo deve interagir com sistemas de informação das organizações intervenientes
- Intervenientes que operam durante a fase de utilização devem herdar o modelo de informação

A falta de um exemplo representativo tão completo poderá ser uma das razões pelas quais a utilização dos BIM ainda não seja uma realidade. Se não existem resultados comprovados na generalidade das empresas do sector, estas apresentarão mais reticências à mudança da sua realidade de trabalho. Utilizar aplicações BIM de forma pontual, não será suficiente para tirar verdadeiramente partido da vasta gama de vantagens que o modelo oferece, até a um ponto em que já se justifique incorrer em mudanças de paradigma, ainda mais face aos problemas de interoperabilidade que serão analisados mais à frente.

3.3.4.2. O que esperar

Implementar a tecnologia dos BIM nas empresas é muito mais uma decisão empresarial do que uma decisão técnica (Smith and Tardif 2009).

Porque está provado o potencial dos BIM em termos técnicos e em termos produtivos, mas não em termos de sucesso de implementação, a decisão de implementar esta tecnologia não é consensual. Os benefícios dos BIM fazem-se sentir a uma escala tanto maior, quanto maior for o âmbito a abranger pela tecnologia. Este facto implica mudanças significativas a nível dos processos de trabalho, as quais trazem consigo um natural decréscimo de produtividade na fase inicial de implementação.

É uma característica bastante humana, comum à maioria das pessoas, desconfiar de algo que parece bom de mais para ser verdade. O grande leque de benefícios dos BIM inserem-se perfeitamente neste contexto, e como tal, frequentemente assumem-se determinados pressupostos em relação a estas ferramentas, que constituem ou partem de pressupostos errados. Um estudo feito por uma empresa de software revela alguns dados interessantes acerca destes aspectos. Alertando para a possibilidade de o estudo poder ser algo parcial para com o seu produto, e por isso não totalmente representativo, não deixa de ser interessante analisar os resultados (Autodesk 2007):

a) Produtividade é afectada durante a transição para os BIM

Não deixa de ser verdade que no período de transição há um decréscimo de produtividade em cerca de 25 a 50%. No entanto, essas perdas são rapidamente compensadas pelos ganhos em produtividade resultantes do uso dos BIM. Na maioria das vezes, leva 3 a 4 meses para atingir os mesmos níveis de produtividade obtidos com a anterior aplicação e a partir daí, a produtividade sofre um aumento acentuado até se atingir um estado de equilíbrio. Embora os níveis de produtividade variem com a dimensão e o tipo de empresa, a verdade é que é frequente a produtividade registar um aumento de cerca de 50%, sendo que nalguns casos seja possível estender este valor para perto dos 100%. Um estudo feito por uma firma Americana de arquitectura (*Loft & Barber Architects*) onde é comparado o número de horas dispendido nas diversas fases de dois projectos muito semelhantes, usando uma aplicação CAD e uma aplicação BIM respectivamente, registou os seguintes resultados:

Tabela 2 - Comparação entre as horas necessárias para realizar as mesmas tarefas utilizando CAD ou BIM (Autodesk 2007)

Tarefa	CAD (horas)	BIM (horas)	Horas ganhas	Percentagem de horas ganhas
Design Esquemático	190	90	100	53%
Desenvolvimento do Projecto	436	220	216	50%
Documentos de Construção	1023	815	208	20%
Coordenação e Controlo	175	16	159	91%
Totais	1824	1141	683	37%

Os resultados são elucidativos. 37% de ganhos em horas. A coordenação demora menos de um décimo e o design desce para metade do tempo. Olhando para os valores reais dos totais em horas, ganham ainda maior significado as vantagens dos BIM em relação ao CAD.

b) Habituação

É uma preocupação muito frequente, pensar que a adaptação ao BIM será difícil e desconfortável, mas a verdade é que as aplicações BIM são pensadas e criadas para darem ao utilizador uma abordagem muito simples e intuitiva, para que o pensamento do projectista em relação ao edifício seja fácil de transmitir para a aplicação. O próprio comportamento do programa vai de encontro ao que os projectistas esperam de uma aplicação do género.

c) Fluxos de trabalho

Fluxos de trabalho ou *workflows* definem-se como o progresso de uma actividade e respectiva velocidade de evolução. Os BIM afectam os *workflows*, mas de uma maneira positiva, ou seja, actuando sobre os que têm um comportamento inadequado/indesejado. De facto, a própria intenção de mudar para os BIM, demonstra uma vontade de actuar sobre os *workflows* ineficazes. Também os *workflows* positivos são afectados, sofrendo uma melhoria que por sua vez conduz a um aumento de eficácia e velocidade.

d) Valor

Valor associado aos BIM. Quem beneficia? Arquitectos? Engenheiros? Empreiteiros? Dono de Obra? A resposta é, todos. O aumento de produtividade. A redução de erros e omissões. A interactividade. O aumento da criatividade e qualidade. A redução de custos. Todos beneficiam, resultando num produto final de melhor qualidade, beneficiando também com isto o cliente portanto.

e) Risco

As actividades dos projectistas estão, como todas as que são exercidas por humanos, sujeitas a erros. Ao erro humano. Os BIM são uma forma de diminuir erros de concepção já que a maioria é automaticamente detectada pelo modelo. Por outro lado, a partilha e acesso a toda a informação por parte de todos os intervenientes, aumenta consideravelmente as probabilidades de os erros irem sendo detectados e corrigidos de forma contínua, contribuindo assim para uma redução generalizada e considerável do risco.

Não há dúvida que as práticas de trabalho tradicionais terão de ser, e serão forçosamente alteradas aquando da implementação dos BIM numa empresa. Uma das alterações mais significativas é a antecipação das decisões de projecto exigida pela utilização dos BIM desde as primeiras fases do processo construtivo. Quanto mais adiantada for a fase do projecto, maiores os custos que derivam de alterações realizadas. O impacto da antecipação das decisões de projecto na construção é mostrado na figura 10, na qual as curvas representadas, têm o seguinte significado (Maunula 2008):

1. Possibilidade de produzir impacto nos custos e aspectos funcionais do projecto;
2. Custo de alterações produzidas no projecto
3. Processo tradicional
4. Processo alternativo

As letras A a G no eixo das abcissas representam as várias fases do processo construtivo:

A. Promoção
B. Estudo prévio
C. Projecto
D. Projecto de execução
E. Procurement
F. Gestão da construção
G. Operação
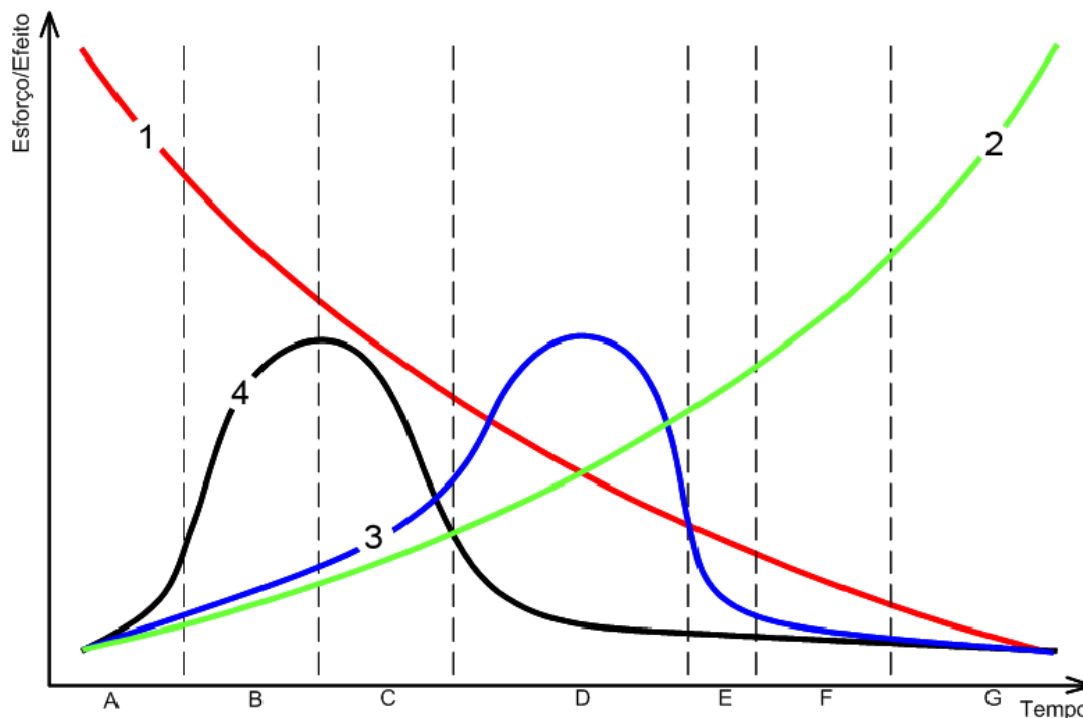
Fig. 10 - Adaptação da curva de MacLeamy (Poças Martins 2009), (Maunula 2008)

É interessante verificar como o esforço associado aos processos tradicionais se centra mais na fase de execução, afastando-se da zona de maior impacto nos custos e funcionalidade e aproximando-se da zona de maior custo de alterações produzidas no projecto e como a mudança para o processo alternativo, no qual se insere a aplicação dos BIM, contraria positivamente essas mesmas tendências. Mudança é a palavra-chave, já que é necessário alterar a abordagem feita ao projecto.

Grandes mudanças, nunca são, nem podem ser vistas de ânimo leve. É necessário pesar os prós e os contras, fazer o balanço e tomar uma decisão ponderada. Geralmente, os contras de uma maneira ou de outra são avaliados em termos de despesas directas e indirectas. Na perspectiva dos BIM, despesas directas representam o investimento feito na compra das licenças e na formação dos utilizadores e despesas indirectas, representam as consequências da perda de produtividade no período de aprendizagem e adaptação. Estes factores podem ser conjugados e ponderados sob a forma de uma análise de retorno do investimento – ROI (*Return on Investiment*).

Basicamente, a análise ROI é um estudo comparativo entre ganhos espectáveis e perdas referentes ao investimento.

$$\frac{Ganhos}{Custos} = ROI \qquad (1)$$

Esta é a forma mais básica de determinar o ROI. A complexidade da fórmula irá aumentar na medida em que mais variáveis são consideradas, ou seja, quanto mais complicado ou alargado for o âmbito, mais complicado se torna o investimento e do mesmo modo, mais complicado se torna avaliar o ROI, sendo que há investimentos de uma complexidade tal que esta análise por si só não é suficiente para oferecer um estudo preciso e adequado (Autodesk 2007).

Calcular o ROI para o caso da mudança para um modelo BIM é relativamente fácil, pelo que o único factor adicional a considerar é a produtividade durante a adaptação. A figura seguinte ilustra o que acontece quando o novo sistema é posto em prática:
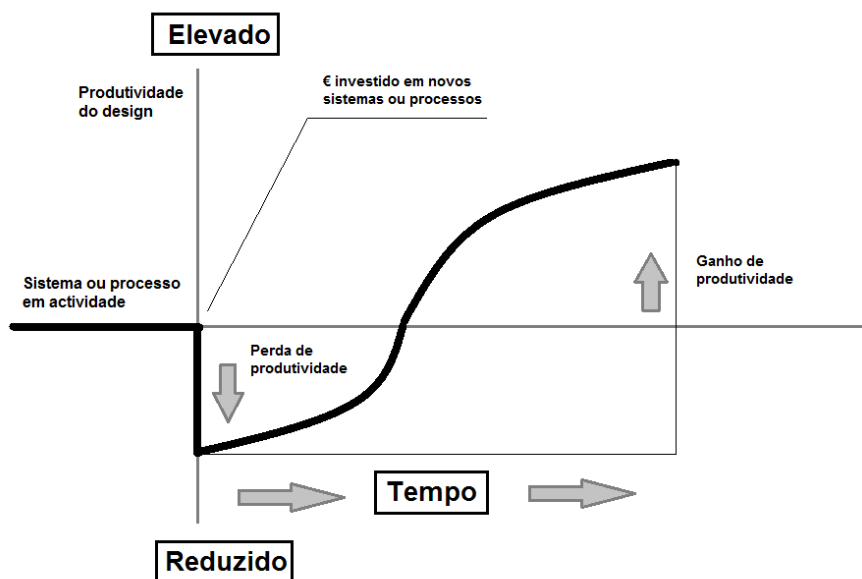
Fig. 11 - Dinâmicas da relação entre tempo e produtividade na implementação de um BIM (Autodesk 2007)

Constata-se que há efectivamente um decrescimento acentuado da produção imediatamente após a implantação do modelo, justificado pela habituação dos utilizadores ao novo sistema. No entanto, com o tempo verifica-se um aumento gradual da produtividade atingindo sem problema os níveis de produção anteriores. À medida que os processos se vão consolidando e que se começa a tirar proveito das novas potencialidades à disposição, os níveis de produção aumentam consideravelmente em relação aos anteriores.

De seguida, mostrar-se-á uma fórmula padrão para calcular o ROI no primeiro ano, usando variáveis relacionadas com o sistema de custos, aprendizagem e poupanças produtivas gerais do sistema:

$$\frac{\left(B-\left(\frac{B}{1+E}\right)\right)\times(12-C)}{A+(B\times C\times D)} = ROI_{1^{\circ} Ano} \quad (2)$$

A. custo do hardware [€]
B. custo mensal da utilização [€]
C. tempo para formação e habituação [meses]
D. perdas de produtividade durante aprendizagem [%]
E. ganhos de produtividade depois aprendizagem [%]

Para melhor perceber a equação considere-se o seguinte:

- O numerador representa a parte da equação referente aos ganhos provenientes do aumento de produtividade
- $B-(\frac{B}{1+E})$ representa o incremento médio de produtividade mensal
- $12-C$ representa o número de meses por ano em que já não se encontram em regime de aprendizagem.
- O denominador representa a parte da equação referente aos custos

Concretizando as variáveis com alguns valores tipo obtidos num estudo de análise ROI referente à implementação de uma aplicação BIM numa empresa, obtém-se o seguinte valor para o ROI (Autodesk 2007):

Tabela 3 - Resultados de um estudo do retorno do investimento (Autodesk 2007)

Variáveis	Valores	Unidades
A	4900	€
B	3500	€
C	3	meses
D	50,0%	%
E	25,0%	%
ROI	**61,5%**	%

De facto, um ROI de cerca de 60% para um investimento numa TIC é extremamente apelativo e seria uma decisão fácil para grande parte dos responsáveis pelos investimentos nas empresas.

Fazendo uma análise de sensibilidade da equação, conclui-se que as variáveis E e D, referentes aos ganhos e perdas de produtividade respectivamente, são as que apresentam maior sensibilidade. Pequenas modificações nessas variáveis introduzem mudanças dramáticas no valor final do ROI, o que leva a crer que a produtividade e os resultados a longo prazo são decisivos quando se faz um investimento numa TIC.

Refira-se que o valor utilizado para os ganhos de produção de 25% é um valor conservativo. Além disso, o tempo de aprendizagem é muitas vezes menor do que os 3 meses considerados. Assim, considerando um valor de ganhos de produção de 30% e menos um mês para a aprendizagem, vem:

Tabela 4 - Resultados de um estudo do retorno do investimento (Autodesk 2007)

Variáveis	Valores	Unidades
A	4900	€
B	3500	€
C	2	meses
D	50,0%	%
E	30,0%	%
ROI	**95,0%**	%

Registou-se então um aumento de 25% do ROI, pelo que nestas condições, 4655 dos 4900 euros do custo do sistema, seriam repostos pelo ganho de produtividade ao fim de um ano. Elucidativo portanto a grande vantagem decorrente deste investimento, ou seja, o facto de o custo original da compra do sistema, ser o factor menos importante. Multiplicar o custo original por dois, de 4900 para 9800 euros, resultaria num decrescimento do ROI em apenas 20%, demonstrando assim que mesmo adquirindo hardware/software bastante caro, haverá sempre um retorno bastante positivo.

Convém referir que há algumas limitações quando se faz este tipo de análise, sendo o facto de ser necessário medir bem os factores produtivos a maior delas. Apenas quando os resultados são facilmente medíveis é que se pode calcular uma percentagem única final do ROI. Assim, é necessário ter em conta todas as variáveis, resultantes não só das vantagens mas também das condicionantes, e utilizar um sistema que permita quantificar esses factores de forma adequada.

3.3.4.3. Papel dos intervenientes no processo construtivo na disseminação dos BIM

A utilização dos BIM em todas as etapas do processo construtivo constitui a melhor forma de extrair o verdadeiro potencial destas ferramentas. Torna-se desta forma possível recolher benefícios indirectos, ou seja, retirar benefícios das melhores práticas de trabalho e dos resultados registados por terceiros. Por outro lado, a própria ligação entre etapas torna-se mais fluida e eficaz.

Para que este cenário se torne uma realidade, é necessário uma contribuição de todos os envolvidos, embora certos agentes da construção, terão um papel mais importante que outros. Veja-se então o papel individual de cada um:

a) O **Dono de Obra** tem um papel fundamental neste aspecto já que pode estabelecer a utilização dos BIM como um dos requisitos do projecto e do planeamento. Verifica-se que esta decisão é frequentemente deixada ao cargo do projectista. Por outro lado, o Dono de Obra frequentemente encontra-se pouco sensibilizado para estes aspectos, pelo que, será necessário um esforço de divulgação destas tecnologias para alterar esta situação (McGraw-Hill 2009).
b) Com igual importância na disseminação dos BIM encontram-se os **arquitectos**. Seja como gestores de projecto, ou como projectistas, é sobre os arquitectos que frequentemente cai a

decisão da selecção da tecnologia de modelação. Seria de esperar que, à luz dos benefícios que a adopção dos BIM traz à concepção de um projecto, se registasse uma maior adesão a estas ferramentas. Tal não se verifica, talvez porque o sector da arquitectura se encontra mais direccionado para a componente artística, do que para a tecnológica, no entanto, a legislação mais severa com os projectistas, e o crescente aumento das exigências e da complexidade dos projectos, serão por ventura fortes estímulos para contrariar a situação (Krippahl 2008).

c) Os **empreiteiros** entram no processo construtivo habitualmente numa fase mais adiantada, mas nem por isso deixam de ser importantes para a disseminação dos BIM. De facto, especialmente as grandes empresas têm um papel decisivo, já que têm uma grande influência nas políticas do sector da construção.

d) O **Estado**, enquanto órgão que desenvolve a legislação, encontra-se numa posição privilegiada para estabelecer formatos favoreçam o uso de processos automáticos como padrão para a concepção de projectos.

3.3.4.4. Entraves à propagação dos BIM

Existem diversos factores que condicionam a implementação bem sucedida dos BIM nas empresas. Factores de carácter específico, directamente relacionados com esta tecnologia, mas também factores de carácter mais geral, ilustrativos da relação do sector da construção com as tecnologias em geral, reflectem um paradigma não muito receptivo à propagação deste tipo de tecnologia. Vejam-se então os factores mais relevantes:

- **Baixa aposta nas tecnologias de informação por parte do sector da construção**: conforme apurado num estudo relativamente recente (e-Business W@tch 2006), verifica-se uma tendência que favorece as práticas mais tradicionais e rudimentares, desacelerando o processo contínuo de evolução natural das tecnologias, por falta de procura e exigências neste mercado.
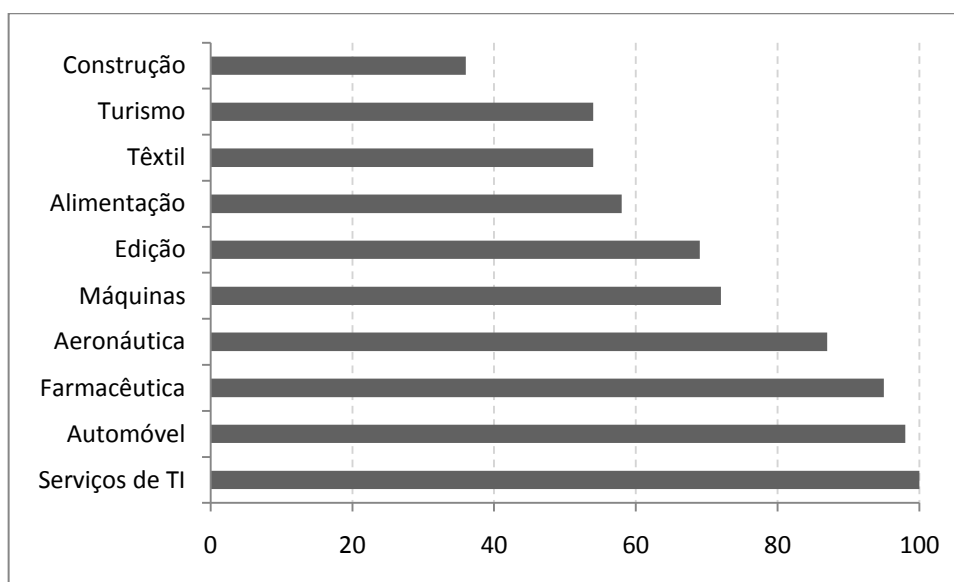
Fig. 12 - Comparação dos índices de *e-business* entre as várias indústrias (e-Business W@tch 2006)

- **Grande número de PME**: o número de pequenas e médias empresas do sector da construção representa, de acordo com o instituto nacional de estatística (INE 2007), mais de noventa por cento do número total de empresas, sendo que, é precisamente este segmento que apresenta mais dificuldades em implementar tecnologias de informação, devido à falta de informação

que possibilite uma boa decisão e um boa estratégia para adopção de novas tecnologias, bem como à falta de recursos e estrutura que permitam fazer uma transição eficiente dos processos de trabalho (e-Business W@tch 2006).

- **Falta de divulgação**: a divulgação dos BIM pode ser vista sob dois prismas. O dos utilizadores e o dos clientes que pretendem que os BIM sejam utilizados nos seus projectos. Um estudo (McGraw-Hill 2009) mostra que cerca de noventa por cento dos não utilizadores dos BIM, tem uma ideia bastante básica ou desconhece-os por completo. Por outro lado, cerca de cinquenta por cento dos clientes não mostra interesse em que os BIM sejam utilizados nos seus projectos.
- **Escassez de competitividade**: a procura por novas soluções é frequentemente motivada pela concorrência. Um estudo (McGraw-Hill 2009) mostra que mais de setenta por cento dos inquiridos não acha que os BIM representem uma vantagem competitiva de mercado, enquanto mais de noventa por cento acredita que a concorrência não se promove como sendo utilizadores BIM.
- **Custo das licenças**: as licenças de software podem representar um custo incomportável, especialmente tendo em conta a dimensão da empresa. É necessário identificar quais as expectativas em relação aos BIM e, com base numa decisão devidamente informada, escolher qual a solução que melhor vai ao seu encontro. Deve também realizar-se sempre um estudo de mercado de forma a apurar quais as soluções disponíveis em termos de software livre. No caso dos BIM, não existem muitas soluções a este nível, no entanto, numa fase inicial onde as aplicações BIM ainda não representam um padrão nos processos construtivos das empresas, os *viewers* (aplicações que permitem visualizar o modelo, restringindo quase totalmente a sua edição, e frequentemente disponíveis gratuitamente) podem ser suficientes.
- **Necessidade de actualizar o hardware**: o processo de modelação de um edifício numa aplicação BIM exige uma interface gráfica bastante desenvolvida, o que implica hardware capaz de a suportar. Com efeito, quanto mais desenvolvido o modelo for, em termos de tamanho, pormenorização e inteligência das ligações (forma como os efeitos e alterações se propagam por todo o modelo), mais lenta se tornará a aplicação. Adicionar os custos de hardware aos custos das licenças pode revelar-se mais do que as empresas estão dispostas a gastar.
- **Problemas de interoperabilidade**: existem ainda alguns obstáculos no que refere às trocas de dados entre sistemas, o que introduz dificuldades nos processos de decisão na hora de escolher as aplicações, gerando receio em alterar os processos tradicionais fiáveis, para novos processos que possam introduzir novos problemas. Ver 3.2 para desenvolvimentos sobre este tema.
- **Senioridade dos altos cargos**: a necessidade em provar a viabilidade das ferramentas BIM, a um grupo habitualmente caracterizado por uma grande experiência em práticas tradicionais, contrastada pela dificuldade em lidar com novas tecnologias, figura-se como, talvez, o maior entrave à implementação dos BIM nas empresas (McGraw-Hill 2009).

3.3.4.5. Progresso da utilização dos BIM nas empresas

A origem do conceito de modelo de informação remonta para os anos 70, conforme visto em 3.1.1, no entanto, a concretização dos princípios em ferramentas e processos de trabalho é relativamente recente. O papel das empresas de software é decisivo para esta evolução, já que, cabe-lhes não só desenvolver aplicações atractivas ao mercado de trabalho, como também uma parte significativa da divulgação destas tecnologias junto dos potenciais utilizadores. Com estes processos em andamento

importa apurar, ainda que superficialmente, a evolução na adesão destas ferramentas por parte das empresas.

Em Portugal, a utilização dos BIM ainda se encontra numa fase inicial. Por outras palavras, nas empresas simplesmente se desconhecem ou não se utilizam estas ferramentas, ou utilizam, mas limitadamente. Um levantamento da situação, realizado junto de uma das maiores empresas de construção em Portugal, revela que há efectivamente conhecimento destas ferramentas e que já foram postas em prática algumas iniciativas para testar as suas potencialidades em projectos reais, sendo que, apesar de a utilização das ferramentas BIM ser algo restrita às funções mais básicas, os resultados verificados a nível de detecção de erros e omissões, bem como na recolha automática de quantidades, apresentou resultados bastante positivos.

Internacionalmente, a maior percentagem de informação disponível em termos de adopção de ferramentas BIM refere aos Estados Unidos. Este facto pode significar uma de duas situações: os BIM ainda são pouco conhecidos nos outros países, ou então, não há informação disponibilizada sobre este assunto. Tomando a situação portuguesa como exemplo, bem como as iniciativas registadas em Singapura a nível do licenciamento automático de projectos (ver 4.3.3), considera-se que o mais provável é registar-se um misto das duas situações. Quanto aos Estados Unidos e Canadá, um estudo (McGraw-Hill 2009) mostra que cerca de cinquenta por cento dos utilizadores já, de alguma forma, adoptaram aplicações BIM. É importante ressalvar o facto de a percentagem não ser totalmente representativa da actividade, já que o nível médio da complexidade de utilização é ainda moderado, conforme indicado na figura em baixo.
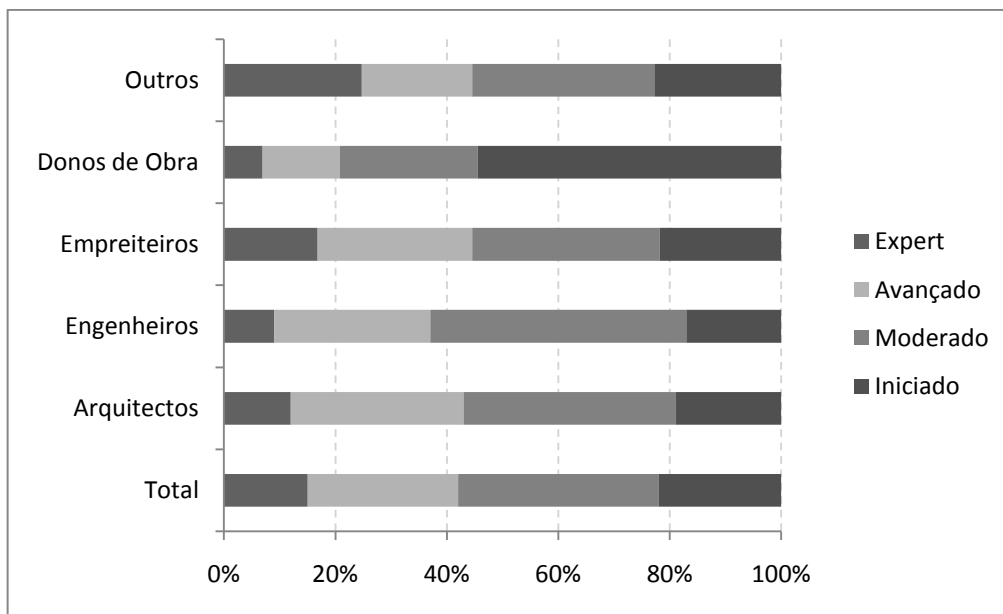
Fig. 13 - Nível de complexidade da utilização dos BIM (McGraw-Hill 2009)

3.4. INTEROPERABILIDADE

3.4.1. ASPECTOS GERAIS

A informação no contexto da construção, tende a tornar-se cada vez mais abundante e complexa. A crescente oferta de aplicações para trato da informação da construção, implica a necessidade de uma interface que permita compatibilizá-la de modo a tornar possível a comunicação entre dois diferentes domínios. Porque o processo construtivo é uma actividade de equipa, de conciliação dos esforços

individuais das várias especialidades, a capacidade de comunicar adequadamente assume uma importância vital.

Actualmente, quando se fala em BIM, é frequente abordar os problemas de interoperabilidade. Veja-se uma definição proposta para o termo (Poças Martins 2009):

Interoperabilidade significa a capacidade de dois ou mais sistemas de informação comunicarem entre si. Quando aplicada a sistemas de informação relacionados com actividades industriais, pode definir-se como a capacidade para comunicar dados ao longo de diferentes actividades produtivas.

Se existem problemas de interoperabilidade, então, tendo em conta a definição, é porque algo no processo de comunicação não está bem. De facto, esta é uma situação semelhante ao problema de duas pessoas a tentarem comunicar, quando falam línguas diferentes. Muito pouca informação é adequadamente filtrada pelos dois receptores linguísticos, e como tal, pouco ou nada se percebe. Se duas aplicações usarem linguagens diferentes, então a informação produzida por cada uma delas, não é interpretada pela outra. Por outro lado, mesmo que as aplicações se baseiem na mesma linguagem, também pode acontecer de uma aplicação não conseguir interpretar informação referente a dados provenientes de funcionalidades exclusivas da aplicação de origem.

A questão da interoperabilidade não é exclusiva do sector da construção. A utilização de formatos como o HTML – *Hypertext Markup Language* ou o formato XML – *eXtended Markup Language* é mais do que frequente na rotina diária das pessoas em geral, já que representam, especialmente o primeiro, os formatos mais usados na internet. Tratam-se pois de formatos padrão, que constituem um standard obrigatório a quem se movimenta nos bastidores da *World Wide Web*.

Assim, sendo possível definir e utilizar formatos padrão num sistema de fluxo de informação global como a internet importa identificar porque razão esses princípios não se verificam a um nível menos complexo, ou antes, extenso, como é o sector da construção.

Em primeiro lugar, a gestão da informação é deficiente, e como tal, informatizar e automatizar os processos não representa uma grande prioridade. Por outro lado, os BIM são uma ferramenta nova. Se é verdade que representam uma das ferramentas de gestão da informação da construção mais completas da actualidade, também o é que a sua divulgação, quanto mais a implantação, é ainda recente. Quem já utiliza os BIM, normalmente fá-lo de forma parcial. Um estudo recente (McGraw-Hill 2009) mostra que 80% dos engenheiros que utilizam BIM, usam esta tecnologia para produzir imagens tridimensionais dos produtos de construção (*renders*), 50% usam os BIM para detecção de incompatibilidades (geométricas) de projecto e que apenas 46% o usam para efectuar análises estruturais. Idealmente, consegue-se extrair benefícios em quantidade bastante superior, se os BIM forem usados como um modelo o mais completo possível, ou seja, usados de modo a integrar o máximo de informação disponível no modelo, no entanto, como visto, tal não se verifica. Este facto, torna a aposta no desenvolvimento de um formato universal pouco sustentável, dado que é necessário haver mercado que justifique financeiramente o trabalho realizado.

Por outro lado, veja-se o estado actual da modelação, dominado pela Autodesk. Como a empresa tem a preferência generalizada em relação às aplicações informáticas de modelação, a necessidade em criar um formato universal não se faz sentir tão acentuadamente.

O inicio da utilização dos BIM marca a fase de experimentação e observação. É precisamente nesta altura que se estuda o comportamento do sector no que diz respeito à utilização do modelo, se verificam as tendências e se tenta apurar de que maneira é que o sector se irá adaptar. Logo, é vital que desde cedo se perceba a importância de trocar dados entre diferentes sistemas, de modo a possibilitar

a utilização adequada e sem restrições dos BIM em todo o processo construtivo, e aumentar os esforços no desenvolvimento de formatos padrão para troca de dados.

Como se verá mais à frente, registam-se já algumas iniciativas no sentido de criar um standard para as trocas de dados. Actualmente, o formato IFC afigura-se como a mais bem sucedida aposta neste sentido.

Resumindo, as incertezas próprias da utilização de uma nova ferramenta, podem justificar as indefinições quanto à interoperabilidade. Contudo, eventualmente será necessário escolher um rumo para a solucionar este problema. A adopção de um formato universal pode parecer a solução mais atractiva para resolver este tipo de questões, embora, em última análise também possa não ser viável. Por mais insípido que pareça, ainda não existem dados suficientes para responder com certeza a esta questão, mas que os problemas de interoperabilidade são reais e precisam de solução, não há dúvida.

3.4.2. FORMATOS PARA TROCAS DE DADOS

O problema da interoperabilidade levanta questões em relação à forma como se trocam dados entre aplicações. Tipicamente, as trocas são processadas segundo um dos seguintes formatos (Eastman 2008):

- **Directamente, utilizando o formato especifico da aplicação utilizada**

  Este formato permite uma ligação directa da informação entre dois utilizadores que usem a mesma aplicação, ou aplicações distintas que utilizem um formato comum, sendo possível criar, exportar, modificar ou apagar informação do modelo.

- **Trocas de dados entre formatos privados**

  Privado ou "*proprietary*" do inglês, refere-se aos formatos criados por uma empresa, de modo a funcionar em todas as suas aplicações, desde que compatíveis. Um exemplo bastante conhecido na construção é o formato DWG (*Data eXchange Format – Drawing*) criado pela Autodesk. As empresas que concebem este tipo de formato fazem-no essencialmente por dois motivos. Primeiro, podem suportá-lo melhor, já que são os responsáveis pela sua concepção, não só o conhecem melhor que ninguém, como também não têm de se preocupar com problemas de marcas registadas. Em segundo, se as suas aplicações se conseguirem superiorizar às da concorrência, o formato exclusivo e privado, garantirá o monopólio do tipo de aplicação, impedindo as outras marcas de usufruírem do formato. Estes dois factores garantem a competitividade nesta área. A procura constante de melhores soluções, que ultrapassem a concorrência, garante a robustez deste tipo de formatos.

- **Trocas de dados utilizando formatos públicos**

  Os formatos públicos são a maior resposta actual aos problemas de interoperabilidade, ou seja, de interacção de vários modelos provenientes de diferentes aplicações, num processo fluido e sem perda de dados. Estes formatos caracterizam-se pela utilização de um modelo standard, que procura servir de interface entre aplicações, capaz de suportar diferentes funcionalidades características de diferentes domínios. Estes formatos não se restringem à geometria, antes, tratam-se de formatos de modelos de produção onde as propriedades dos materiais e objectos e as relações espaciais são integradas, facto essencial a uma interface de aplicações BIM. Os dois exemplos mais bem sucedidos são, o formato IFC (*Industry Foundation Classes*) e o formato CIS/2. O primeiro figura-se como um modelo de produção para o design e ciclo de vida útil de edifícios, enquanto o segundo, constitui o standard público para estruturas metálicas, referente

tanto à concepção, como à fabricação. Refira-se que estes, são dos poucos formatos standard para troca de dados, reconhecidos internacionalmente, ainda que não oficialmente. Este tipo de formatos, poderá ser decisivo para projectos de elevada dimensão, com muitas e grandes equipas envolvidas. Noutra linha, pode também ser uma boa resposta ao facto de o sector de obras públicas preferir não se submeter exclusivamente a ferramentas que representem o monopólio das soluções.

- **Trocas de dados utilizando o formato XML**

XML, do inglês *eXtensible Markup Language*, é uma extensão do formato HTML, o formato mais utilizado para desenvolver páginas de internet. Este formato permite a definição do significado e da estrutura da informação, e suporta trocas de dados entre vários tipos de aplicações. Habitual e preferencialmente utilizado para organizar dados e informação documental, pode também ser aplicado a modelos de representação de objectos.

Um aecXML é uma especificação do formato XML, que procura facilitar a comunicação entre os intervenientes da construção, sejam arquitectos, engenheiros, empreiteiros, Donos de Obra, consultores, fornecedores, fabricantes, e os demais agentes da construção. Mais do que um substituto, este formato representa uma extensão às bases de dados existentes, funcionando como uma ferramenta que faz a ponte entre diferentes domínios, no que diz respeito à linguagem especifica da construção que neles figura (Doherty 2003).

Pensado nos quatro formatos revistos, é possível fazer uma grande distinção entre os dois primeiros, privados e os dois últimos, públicos. Os formatos privados têm um grande potencial de desenvolvimento, já que, o factor competição entre as demais empresas de software se traduz em motivação para fazer melhor que a concorrência. Ter o monopólio da sua área de actividade, representa sempre uma grande vantagem para uma empresa. Por outro lado, assegura a robustez dos formatos, justificada pela inexistência de limitações e impedimentos. Trabalhar com formatos universais, ou pertencentes a outras empresas, significa uma necessidade de ajuste às directivas definidas pelas mesmas, o que se pode revelar prejudicial à evolução das aplicações e formatos.

Por outro lado, os problemas de interoperabilidade são reais, já que o paradigma dos BIM, por se encontrar numa fase inicial, ainda não se encontra bem definido em relação à orientação a tomar nesta área. Formatos universais são em teoria uma boa resposta para assegurar o fluxo adequado de dados e informação. Claro que, para um formato universal poder ser uma realidade, ou seja, assumir-se como um formato standard e comum em relação a todos os outros, é necessário que tenha a capacidade de acompanhar a evolução dos formatos privados. À medida que surgem novas aplicações BIM, também a gama de funcionalidades aumenta. Para o formato universal ser viável, essas funcionalidades devem ser incorporadas no formato, no entanto, esse é um processo demorado. Ainda mais tendo em conta que, ao contrário dos formatos privados, é necessário incorporar funcionalidades de e num grande número de aplicações diferentes. Por outro lado, as próprias novas versões ou actualizações introduzem alterações que podem entrar em conflito com a versão existente do formato universal.

Resumindo, a rapidez com que as entidades privadas lançam novas versões das suas aplicações e ao mesmo tempo, fortalecem os seus formatos, torna difícil para o formato universal acompanhar esta evolução, já que incorporar novas entradas e saídas de informação, com origem nas diferentes aplicações, significa um trabalho em múltiplas frentes que figura-se de difícil execução.

3.5. *INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)*

3.5.1. ORIGEM, EVOLUÇÃO E INTRODUÇÃO DO MODELO IFC

A crescente quantidade de informação produzida, aliada às novas tecnologias informáticas, trouxe consigo os problemas de transmissão e tradução de dados. Tal facto fez com que diversos grupos, tanto na Europa como nos EUA, pensassem na necessidade de existência de um standard para trocas de dados. De modo a evitar a criação de vários standards para cada país, a ISO (*International Standards Organization*) interveio, dando início à criação de um Comité Técnico, TC184, para iniciar um subcomité, SC4, para desenvolver um standard, STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*) (Eastman 1999).

Os objectivos principais deste standard, passam por (Eastman 1999):

- Incorporar novos conceitos numa linguagem de programação, especialmente no que refere à programação de objectos
- Incorporar especificações das estruturas definidas, usando a nova linguagem de modelação de dados
- Separar o modelo do formato do ficheiro
- Suportar a integração de partes do modelo no modelo total, de modo a evitar a modelação desnecessária de elementos
- Suportar implementações alternativas, incluindo ficheiros, bases de dados e sistemas de informação
- Incorporar modelos referência, comuns aos subconjuntos dos modelos de maior dimensão mais partilhados

O STEP não é exclusivo do sector da construção. Antes, pretende estabelecer-se como a ponte de comunicação entre sistemas de diferentes áreas, seja de CAD (*Computer Aided Design*), CAE (*Computer Aided Engineering Analysis*), CAM (*Computer Aided Manufacturing*) ou CNC (*Computerized Numerical Control*) (STEP Tools 1991-2010).

Um dos produtos principais do STEP é a linguagem EXPRESS. De acordo com a bibliografia (Wilson 1998), esta foi desenvolvida de modo a fornecer uma maneira de definir um qualquer produto, desde um chip, até um edifício, durante o seu ciclo de vida, desde a concepção, até à eliminação. Associados à linguagem EXPRESS, existem alguns conceitos básicos que vale a pena rever:

- Fornece um potente mecanismo para modelar, integrando a informação e respectivas relações
- A linguagem de programação inclui uma gama completa de procedimentos de modo a especificar restrições e especificidades
- Abordagem estruturalista do modelo
- Consistência das trocas de dados

Actualmente, no que diz respeito ao sector da construção, o desenvolvimento do projecto ISO-STEP tem-se revelado lento, e não muito bem sucedido (Poças Martins 2009), no entanto, não é totalmente irrelevante já que serve de ponto de partida para modelos/formatos alternativos, como o IFC e o CIS/2.

O desenvolvimento do modelo IFC está ao cargo da IAI (*International Alliance for Interoperability*), um associação industrialmente não lucrativa, com o intuito de promover o formato, como um modelo de projecto neutro, de modo a responder às exigências do ciclo de vida da construção. Uma das grandes preocupações da IAI passa pela definição e disponibilização de uma nova versão do modelo IFC todos os anos, encorajando o desenvolvimento rápido e contínuo do formato. Na prática, embora o modelo esteja sobre constante actualização, a disponibilização de novas versões não é anual, sobretudo

na última década, em que se verificou uma certa estagnação do desenvolvimento do modelo, como se pode verificar na seguinte figura:
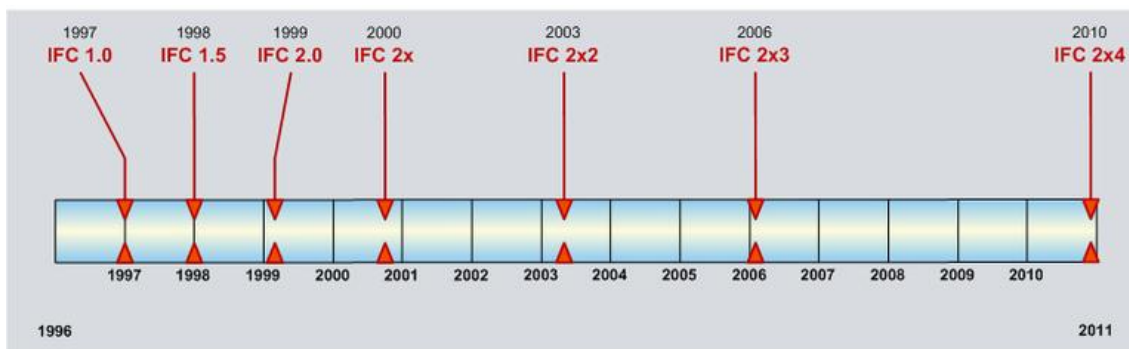
Fig. 14 - Datas de lançamento das novas versões do modelo IFC (IAI 1996-2010)

A IAI é suportada com largo apoio da indústria da construção, contabilizando à dez anos atrás, 625 empresas distribuídas por 18 países diferentes. Uma das características da associação passa pela participação em vários comités referentes a diferentes domínios (Eastman 1999):

- Arquitectura
- Serviços de construção
- Gestão da construção (*procurement*, logística, especialidades, …)
- Padrões e códigos
- Estimação de custos
- Gestão de projectos
- Gestão de obra
- Simulação
- Estruturas
- Interligação entre domínios

Recuperando o que foi dito, a iniciativa ISO-STEP serviu de ponto de partida para o modelo IFC, que importa a mesma linguagem de programação, EXPRESS.

O aparecimento e crescimento do formato XML significou uma nova possibilidade para a representação de dados num modelo, que a IAI procurou implementar no modelo IFC. O XML permite definir uma estrutura documental. Essa estrutura pode ser um modelo de informação, que por sua vez pode basear-se nas especificações de modelação do formato IFC.

Vantagens de utilizar a linguagem XML, em detrimento da EXPRESS, passam pela existência mais global e conhecida do XML nas empresas e organizações, na variedade de ferramentas de desenvolvimento disponíveis (a bom preço) e na facilidade de integrar com aplicações da internet (i.e. *browsers Web*) e outros softwares standard (Liebich 2002).

De facto, muitos softwares são baseados em XML e como tal, não conseguem ler a linguagem EXPRESS do modelo IFC. Daí, a tentativa de suporte da linguagem XML por parte do modelo IFC.

A transição do EXPRESS para o XML não foi 100% eficaz, já que as duas linguagens não são totalmente compatíveis. Mais, cada uma apresenta conceitos não presentes na outra. No entanto, apesar de as linguagens serem diferentes, a estrutura e o conteúdo do modelo IFC em ambos os formatos, são iguais (Liebich 2002).

Desde 2001, encontra-se disponível o formato ifcXML que, embora tenha sido obtido a partir do formato EXPRESS original, não contém toda a informação existente neste.

O formato XML pela grande utilização que tem, a nível de aplicações informáticas e da própria internet, representa um formato ideal para basear um modelo standard como o IFC. No entanto, sendo o modelo IFC um produto da ISO-STEP, ou seja, baseado em linguagem EXPRESS, torna-se complicada a compatibilização com o formato XML. Se é verdade que o formato ifcXML, representativo de uma transição incompleta da linguagem EXPRESS para XML tendo em vista o modelo IFC, já apresenta ficheiros com tamanho aproximado aos ficheiros XML, também o é que esta transição implica perda de informação do modelo, o que vem contrariar o próprio pressuposto de criar um standard para troca de dados (Behrman 2002).

Os processos estruturalistas seguidos pela IAI no desenvolvimento do modelo IFC não incluem a implementação e teste em relação aos vários softwares. Tal facto, traduziu-se numa certa relutância por parte das empresas que os desenvolvem e vendem, em incorrer em processos difíceis e demorados para implementar um standard sem provas dadas, leia-se não testado nem implementado. De modo a facilitar este processo, surge assim o projecto BLIS (*Building Lifecycle Interoperable Software*), nada mais que uma associação de entidades como laboratórios governamentais, vendedores de software e/ou de aplicações especializadas, como simulação energética ou estimativa de custos. O projecto BLIS veio assim acrescentar alguns princípios minimalistas em falta nos processos da IAI, para implementação do modelo IFC (Behrman 2002).

Em termos práticos, projecto BLIS traduz-se em aplicações concretas do modelo IFC, por exemplo, na produção de medições e orçamentos a partir do projecto geral de arquitectura. Deste modo, vão sendo identificadas falhas no modelo IFC, relevantes para a sua aplicação em situações concretas, para que os problemas possam ser resolvidos, pois quanto mais lacunas o modelo apresentar, menos adequado se torna, do ponto da satisfação das exigências colocadas por empresas de software para a construção (Poças Martins 2009).
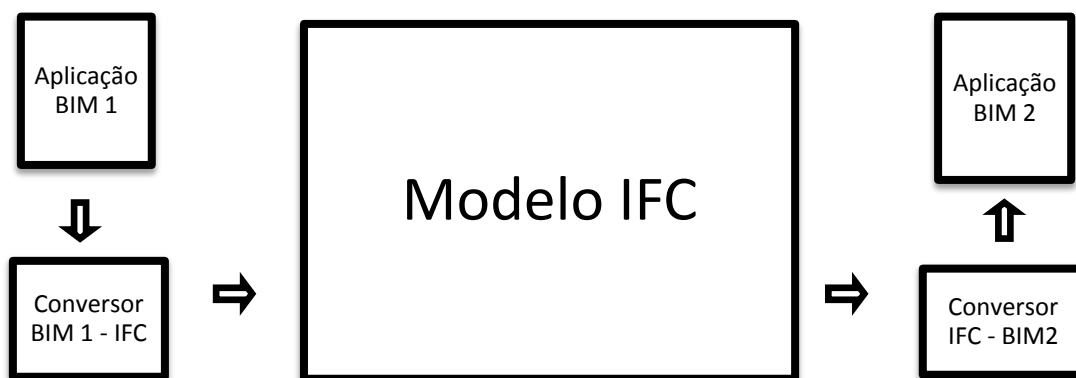
Fig. 15 - Processo de troca de dados utilizando o modelo IFC

Resumindo, o modelo IFC foi criado pela IAI com o intuito de fornecer um vasto leque de recursos de representação, de modo a possibilitar as trocas de dados entre sistemas na área da construção (ver figura 15). Desenvolvido a partir dos conceitos e definições do ISO-STEP, foi adoptada a mesma linguagem de programação para o modelo IFC (EXPRESS). A adaptação para o formato XML, um formato muito utilizado em vários softwares e bastante utilizado para trocas de dados, não é totalmente compatível já que as duas linguagens são diferentes e o XML não é tão adequado para representação

de estruturas de bases de dados orientadas para representação de objectos. O resultado, o ifcXML, representa assim alguma perda de informação em relação ao formato EXPRESS.

As capacidades do modelo IFC, em relação às várias áreas do projecto, passam genericamente por (Eastman 2008):

- Representações geométricas: linhas, intersecções, objectos
- Relações paramétricas: associações, coordenações, correcções
- Propriedades dos elementos: materiais, performance ambiental, performance mecânica, performance térmica, entre outras
- Meta propriedades: gestão, controlo, planeamento, entre outros

A estrutura e organização do modelo IFC têm sido desenvolvidas segundo um conjunto de princípios, os quais se focam numa série de requisitos básicos (IAI 1999):

- Fornecer uma estrutura modular para o modelo
- Fornecer uma plataforma de trabalho para troca de informação entre diferentes especialidades da construção
- Facilitar a manutenção e desenvolvimento contínuo do modelo
- Permitir a reutilização de componentes de um modelo por parte dos agentes de modelação
- Permitir a reutilização de componentes de software por parte dos seus autores
- Facilitar a compatibilidade entre novas versões do modelo

3.5.2. ONTOLOGIAS, SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E TERMINOLOGIAS EM MODELOS DE DADOS

As ontologias podem ser descritas como mecanismos de formalização de conhecimento abstracto. Um autor (Gruber 1993) define-as como sendo uma especificação de conceitos para criação de um modelo simplificado da realidade, enquanto outro (Lima 2004) acrescenta que se trata de um pré-requisito para uma interoperabilidade bem sucedida, necessária à partilha eficaz de informação, seja a que campo pertencer.

A importância das ontologias no mundo dos modelos de dados na construção, está associada à necessidade de representar e agrupar conceitos de forma sistematizada, de modo a obter vias de disseminação do conhecimento que sejam facilmente acessíveis e interpretadas por parte de todos os envolvidos.

A definição de ontologia, como especificação explícita de uma abstracção, de alguma maneira, pressupõe uma acção caracterizadora para conceitos genéricos. Deste modo, as ontologias descrevem (Ekholm 2005):

- **Objectos**: definição de um conceito ao qual é dado significado de modelação, pela atribuição de propriedades;
- **Classes**: conjunto de objectos utilizados para definir uma propriedade;
- **Propriedades**: conjunto de atributos utilizados para caracterizar um objecto em termos de constituição e/ou funcionalidade;
- **Relações**: entre objectos e/ou classes, define o “grau de parentesco” e a forma como estes se relacionam;

Os sistemas de classificação definem a divisão hierárquica entre conjuntos de objectos e classes, e respectivas relações. As relações semânticas entre objectos num sistema de classificação são claramente mais limitados do que nas ontologias, embora a sua aplicabilidade seja mais viável, a curto

prazo, de acordo com as ferramentas informáticas actualmente disponíveis (Poças Martins 2009). A figura seguinte mostra um exemplo de conceitos de classificação:
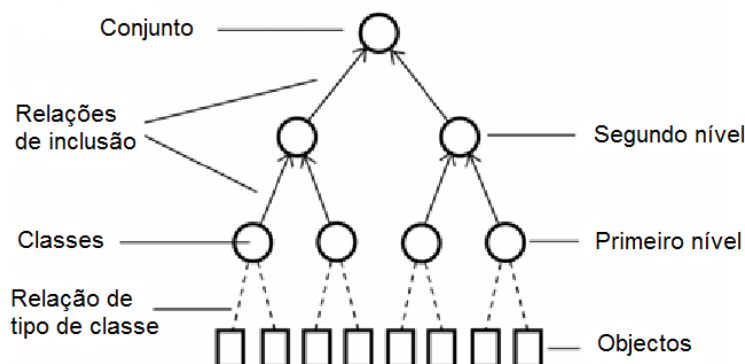
Fig. 16 - Conceitos de classificação (Ekholm 2005)

O modelo IFC utiliza ontologias semelhantes às dos restantes modelos da construção. Assim, além dos conceitos genéricos obrigatoriamente presentes num modelo de dados descritos anteriormente, o modelo IFC utiliza uma série de conceitos adicionais que, para facilitar a compreensão dos próximos capítulos, importa rever:

- **Entidade**: estabelece na estrutura de base de dados do modelo IFC, qual a entrada ou comando que define determinado objecto, classe, propriedade ou relação;
- **Módulo**: define um agrupamento de recursos de representação, localizado ao nível hierárquico mais elevado, que contém todas as entidades relacionadas com o seu domínio;
- **Camada**: define um agrupamento conceptual de módulos;

3.5.3. DESCRIÇÃO E ESTRUTURA DO MODELO IFC

A estrutura ou arquitectura do modelo IFC não se presta a um desenvolvimento descentralizado, envolvendo um conjunto alargado de entidades. Na realidade, o modelo é criado e mantido por um conjunto limitado de pessoas: o *Model Support Group* (MSG). Em 2002, o MSG era constituído por apenas seis pessoas que trabalhavam a tempo parcial no desenvolvimento do modelo IFC (Behrman 2002).

O modelo respeita uma hierarquia típica em modelos organizados por objectos, segundo a qual, as classes de níveis inferiores herdam as propriedades das classes de nível superior na hierarquia. Assim, qualquer alteração nas classes de nível superior modifica a estrutura das classes de níveis inferiores (Poças Martins 2009).

A arquitectura do modelo IFC consiste numa estrutura repartida em quatro camadas conceptuais, também dispostas hierarquicamente, as quais constituem os vectores para o desenvolvimento dos vários componentes específicos do modelo, os chamados "*model schemas*" ou módulos estruturais.

Na figura seguinte, estão representadas as várias camadas e módulos conceptuais e a respectiva hierarquia que respeitam:
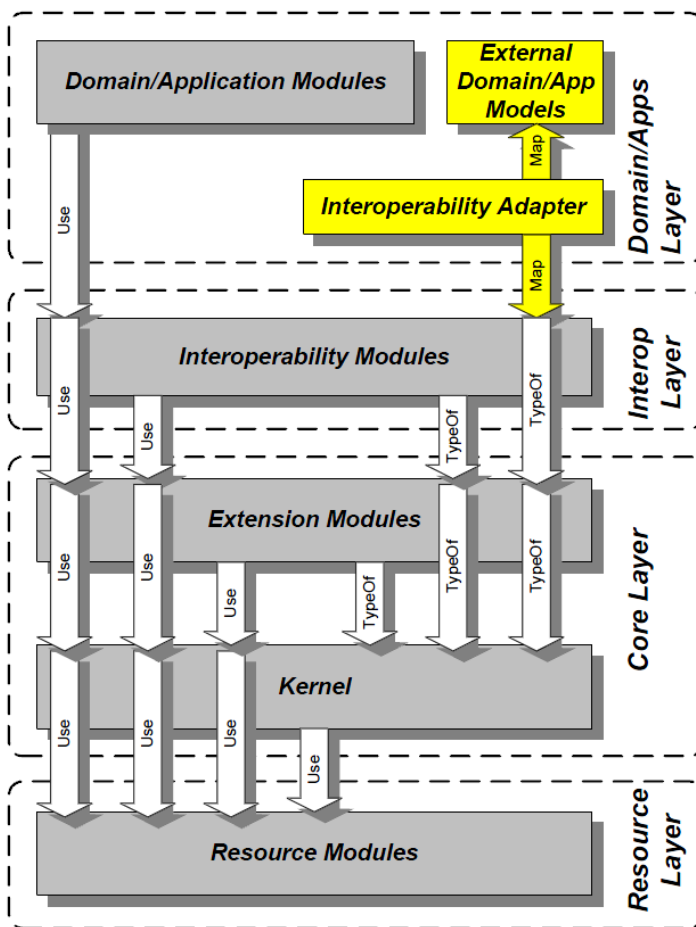
Fig. 17 - Esquematização das relações e da disposição das camadas do modelo IFC (IAI 1999)

Percorrendo a estrutura do modelo de baixo para cima, a primeira camada conceptual, diz respeito aos recursos usados pelas classes dos níveis superiores. A segunda camada, o núcleo do modelo, contém dois módulos, *Kernel* e os módulos de extensões. A terceira camada, referente à interoperabilidade, contém um conjunto de módulos que definem conceitos e objectos, e a sua relação com as várias aplicações informáticas da construção. Finalmente, a quarta camada referente às especialidades, ou domínios de aplicação do modelo, fornece uma série de módulos criados à medida das várias especialidades da construção. Mais, esta camada contém ainda adaptadores ou interfaces que fazem a ponte entre as várias especialidades do modelo e as aplicações BIM.

Veja-se agora numa perspectiva mais detalhada das várias camadas e módulos conceptuais, a aparência da estrutura da base de dados do modelo IFC (IAI 1996-2010):
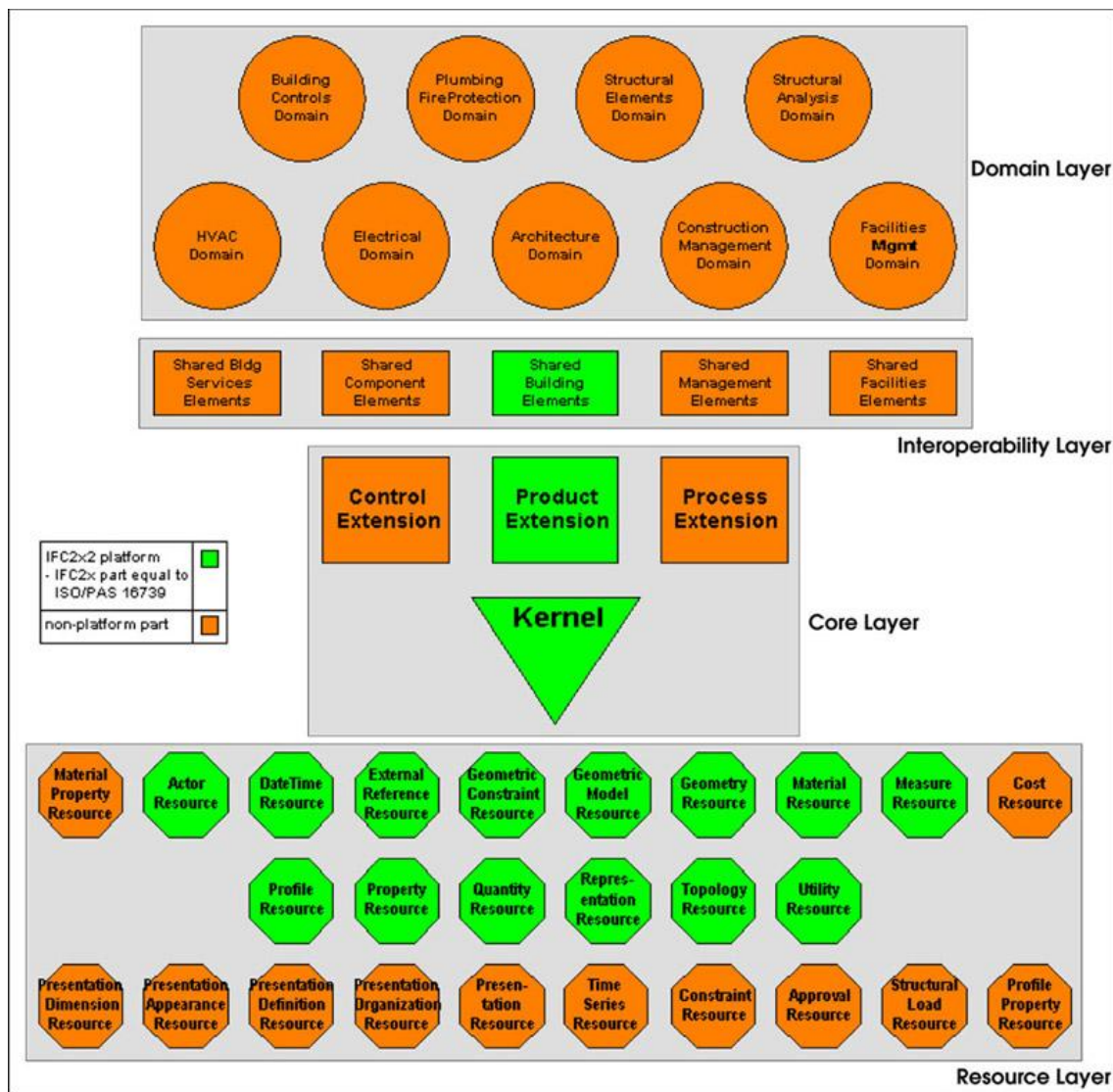
Fig. 18 - Estrutura do modelo IFC, dividida por camadas e módulos (IAI 1996-2010)

Em 2002, parte do modelo IFC obteve aprovação ISO. Na figura 18, a verde, encontra-se exactamente essa parte do modelo.

Segundo a bibliografia (IAI 1999), a arquitectura do modelo funciona segundo um princípio de escada. Em qualquer camada, uma classe pode percorrer qualquer das classes que se encontrem a baixo ou ao mesmo nível da hierarquia (quando uma classe se refere a outra do mesmo nível, é necessário tomar as devidas precauções para respeitar a integridade do modelo), mas não podem voltar para trás.

As relações entre domínios diferentes respeitam algumas regras e procedimentos. Na camada das especialidades, as relações entre os domínios de aplicação devem ser resolvidas através de conceitos comuns definidos na camada da interoperabilidade. Já quanto à camada dos recursos, se possível, devem evitar-se as referências entre os seus módulos, de maneira a suportar o objectivo de individualizar cada um dos mesmos como recursos auto-contidos. Expandindo os princípios da estrutura em escada do modelo, vem a seguinte lista (IAI 1999):

- Classes da camada dos recursos apenas podem referenciar ou percorrer, outras classes de recursos.

- Classes da camada do núcleo não podem referenciar ou percorrer classes da camada de interoperabilidade e da camada dos domínios, no entanto, podem usar classes da camada dos recursos. Podem também usar classes da própria camada do núcleo, estando no entanto sujeitos a algumas restrições ou limitações. O princípio da estrutura em escada também se aplica ao interior do domínio conceptual do núcleo. Assim, classes do módulo *Kernel* podem ser usadas pelas classes das extensões, já o reverso não.
- Da mesma maneira, classes da camada da interoperabilidade podem usar as do núcleo e dos recursos, mas não as das especialidades.
- Por fim, as classes da camada das especialidades podem referenciar qualquer outra classe do modelo. Adicionalmente, as classes da camada de adaptadores de interoperabilidade podem usar classes da camada da interoperabilidade.

Discutidas as camadas conceptuais de forma um pouco superficial, interessa agora decompô-las, de modo a perceber qual a função de cada uma. A descrição estrutural que se segue tem por base o guia do modelo IFC que se pode encontrar na bibliografia (IAI 1999).

3.5.3.1. Camada dos Recursos

Esta camada encontra-se na posição mais baixa da hierarquia do modelo IFC. Como tal, pode ser usada por classes de todos os outros módulos conceptuais. Os recursos caracterizam-se pelo âmbito genérico. São por isso conceitos ou objectos associados aos níveis inferiores do modelo e não dependem de quaisquer outras classes.

Todos os recursos representam conceitos individuais de actividades. Por exemplo, toda a informação referente a custos é recolhida pelo módulo estrutural (*model schema*) *IfcCostResource*. Assim, qualquer classe de qualquer um dos módulos conceptuais que precise de utilizar informação referente a custos irá utilizar este módulo.

De forma semelhante, toda a informação que diz respeito a geometria é recolhida no módulo *IfcGeometryResource*, incluindo as definições fundamentais de entidades geométricas e as definições geométricas específicas de atributos.

3.5.3.2. Camada do Núcleo

A camada que se segue na estrutura do modelo IFC é o núcleo. Assim, este pode ser utilizado pelas classes de interoperabilidade e domínio de aplicação.

A camada do núcleo representa a base da estrutura do modelo IFC, definindo os conceitos mais abstractos que servem de base para serem especializados nas camadas superiores do modelo.

Os objectivos do núcleo, no âmbito do projecto, passam por:

- Definição do conjunto de conceitos comuns ao processo em causa e que mais tarde serão refinados nos módulos da interoperabilidade e domínios de aplicação;
- Pré-harmonização dos módulos de especialidades através da utilização dos conjuntos definidos no ponto anterior;
- Definição das fundações do modelo IFC, de modo a suportar actualizações de outras aplicações compatíveis com IFC;

O núcleo inclui dois níveis de abstracção: *Kernel* e *Core Extensions*

O módulo *Kernel* define a estrutura e decomposição do modelo. As suas configurações são obrigatórias em todas as entidades do modelo IFC. O modelo IFC apresenta certos requisitos a nível de conceitos abstractos. Todos eles estão contidos no *Kernel*. De facto, os conceitos definidos no *Kernel* são necessariamente abstractos em relação aos módulos conceptuais superiores. Por outro lado, o *Kernel* também inclui conceitos fundamentais referentes à preparação de objectos, relações, definições de tipo, atributos e funções. De uma maneira geral, o *Kernel* pode ser visto como uma espécie de modelo base que representa a plataforma para todas as extensões do modelo. Embora as suas configurações sejam genéricas (não são específicas da construção), apenas serão usadas na construção por resultado da acção das *Core Extensions*.

O *Kernel* representa as fundações do núcleo do modelo. As suas classes podem utilizar classes do módulo dos recursos, mas não de quaisquer outras partes do núcleo ou módulos mais altos na hierarquia. O uso de classes dos recursos será facilitado através de interfaces bem definidas na sua estrutura.

A entidade mais genérica do modelo IFC, *IfcRoot*, encontra-se no módulo *Kernel*. Em termos conceptuais, a partir desta entidade raiz aparecem três ramificações correspondentes às entidades que representam a base para representação, caracterização e definição de relações para objectos e classes (Ekholm 2005).
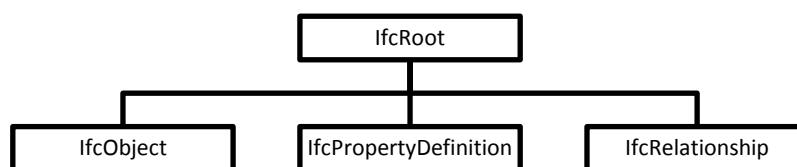
Fig. 19 - Subtipos directos da classe *IfcRoot* (IAI 1996-2010)

Core Extensions, ou extensões do núcleo, como o próprio nome indica, fornecem uma extensão ou especialização dos conceitos definidos no *Kernel*, nomeadamente nas classes *IfcControl*, *IfcProcess* e *IfcProduct*, representando assim o primeiro refinamento às configurações abstractas lá contidas. Este refinamento modifica o carácter genérico dos conceitos abstractos no *Kernel*, em configurações próprias para uso na indústria da construção.

Cada uma das classes de extensões é uma especialização das classes *Kernel*. A figura 20 mostra este processo.
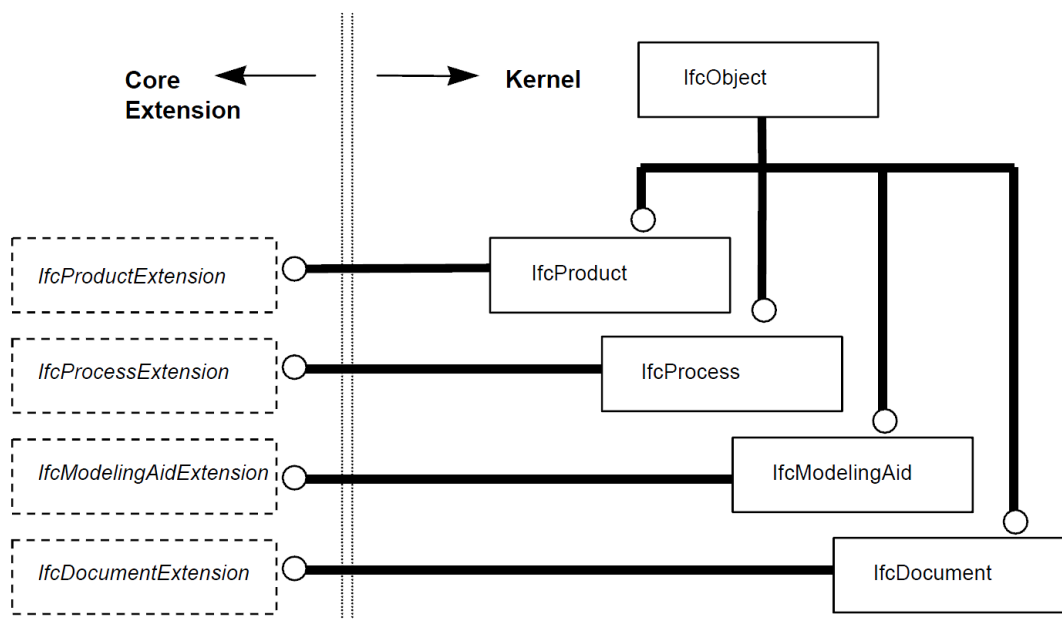
Fig. 20 - Relação entre classes do módulo *Kernel* e do módulo *Core Extensions* (IAI 1999)

Outra função das extensões passa pela definição das relações primárias e dos papéis dos elementos do modelo.

3.5.3.3. Camada da Interoperabilidade

O objectivo maior da estrutura da camada de interoperabilidade passa pela definição das configurações de conceitos ou objectos, comuns a dois ou mais domínios de aplicação. Estas configurações são conhecidas como os módulos comuns, os quais, permitem a interoperabilidade entre diferentes especialidades.

A introdução deste módulo é o melhor exemplo das directrizes gerais para design de um modelo cujo núcleo permita a interface com vários domínios ou aplicações do modelo.

Este é um tipo de estrutura que permite encomendar o desenvolvimento de domínios e aplicações a terceiros (fora da IAI).

3.5.3.4. Camada dos domínios de aplicação

Os módulos desta camada fornecem o maior detalhe do modelo para a especialidade pretendida, seja em termos de processos ou tipo de aplicação, ou seja, fornece definições especializadas concebidas para uso exclusivo do respectivo domínio em causa. Cada um destes módulos pode usar classes do núcleo ou dos recursos.

Parte da definição dos modelos de especialidades passa pelos respectivos adaptadores, em caso de serem necessários. Para o caso de os módulos serem perfeitamente harmonizados com o modelo IFC, podem ligar-se directamente ao núcleo, caso contrário, é necessário um adaptador, desenvolvido por quem produz o módulo, que permita a interface com a plataforma de recursos IFC. Relações entre os próprios domínios de especialidades também podem ser necessárias, pelo que também nesse caso é necessário um adaptador.

3.5.3.5. Adaptadores de interoperabilidade

O adaptador ainda não é totalmente utilizado na versão actual do modelo IFC, no entanto o conceito por detrás do mesmo, está pensado para constituir uma forma de aceder a vários módulos de especialidades, incluindo os modelos de dispersão (são definidos externamente ao âmbito de acção da IAI).

Os adaptadores constituem requisitos para facilitar os seguintes aspectos:

- Introdução directa de módulos de especialidades, ou seja, capacitar a introdução directa das classes de domínios de aplicação à informação do núcleo do modelo IFC, intermediados pelas classes de interoperabilidade existentes na respectiva camada. Esta é a única função aplicada actualmente;
- Ligação de módulos de especialidades não harmonizados e não produzidos pela IAI, segundo um adaptador que fornece um mapeamento do mecanismo até ao núcleo, passando pela camada de interoperabilidade. A configuração da interface do adaptador é da responsabilidade do produtor do módulo de domínio de aplicação e integra-se na respectiva camada do modelo IFC;
- Ligação entre módulos de especialidades, segundo um mecanismo que permita a interoperabilidade entre domínios de aplicação. Este mecanismo deve possuir um repositório para armazenar a informação, pois os adaptadores são da responsabilidade de quem produz os módulos de especialidades e como tal, é necessário guardar a informação das interfaces dos vários domínios de aplicação;

Os adaptadores são baseados nas configurações das extensões do núcleo e a sua acção resulta numa melhoria dos mesmos. Estas melhorias são resultado da adição de novos conceitos comuns a todos os domínios de aplicação, logo, os adaptadores podem mesmo resultar numa melhoria dos próprios módulos de especialidades já que lhes podem estar a introduzir novas funções, de modo a torná-los compatíveis.

As extensões referentes a domínios já cobertos pelo modelo IFC, tais como arquitectura ou AVAC, não necessitam de um mapeamento até às configurações do núcleo, pelo que, para estes casos, não é necessário um adaptador específico.

3.5.4. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO IFC

A descrição da estrutura do modelo IFC, vista no capítulo anterior, serve para perceber melhor como funciona o modelo, ou mais propriamente, a estrutura do modelo. Serve também para perceber a necessidade de desenvolver trabalho segundo alguns vectores do formato. É importante perceber que o modelo IFC não se trata apenas de um modelo orientado para representação de objectos, mas sim de um verdadeiro formato completo de um modelo da construção. Assim, torna-se pertinente perceber em que medida é que o modelo pode ser implementado em projectos e qual a extensão do seu grau de utilização.

Em relação à gestão de projectos no âmbito dos sistemas, a grande dificuldade actual passa pela dificuldade em partilhar informação adequadamente, isto é, sem perdas de informação ou deficientes interpretações, essencialmente porque os vários intervenientes no processo utilizam softwares específicos que poderão não ser totalmente compatíveis. Um estudo consultado (Bjoerk 1999) mostra que de forma geral, o modelo IFC suporta as práticas correntes no que diz respeito à estimativa de custos e ao planeamento de tarefas. A integração deste tipo de informação representa uma mais-valia que se traduz em processos ou tarefas mais simples e eficazes quando comparadas com os processos

tradicionais, pois, além da informação se tornar mais acessível, também o risco de a perder diminui. Os produtores de software de gestão de projectos, devem assim ter a preocupação de criar adaptadores para o modelo, de modo a possibilitar aos projectistas (e quem está envolvido nas tarefas subsequentes) a partilha deste tipo de dados.

Uma das áreas do projecto com maior tendência de crescimento nos últimos anos é a eficiência energética dos edifícios. Tendo este facto em conta, a interoperabilidade entre ferramentas de design e ferramentas de simulação assume uma grande importância, já que é necessário criar processos mais acessíveis e eficazes, de modo a tornarem-se viáveis e frequentes na construção. Um estudo (Bazjanac and Crawley 1999) feito com base na utilização de cinco softwares compatíveis com o modelo IFC, para os processos de design e eficiência energética, mostrou as seguintes conclusões:

- Trabalho a longa distância não traz problemas, desde que se trabalhe com software compatível com IFC e que se tenha acesso sem restrições ao modelo de informação;
- Redução drástica em cerca de 80% dos custos directos, e do tempo de concepção e trabalho;
- Geração de informação da performance energética e alternativas de design energético na fase de design esquemático, por oposição à obrigação de esperar pelo fim desta fase;
- Compatibilização directa de modelos energeticamente eficazes com os outros domínios, tais como estruturas, AVAC, gestão de estaleiro e de custos;
- Capacidade de criar um modelo 3D que leve à produção automática de *renderings* para visualização;

Um aspecto que aparenta ser importante para a redução dos custos e do tempo de concepção e trabalho é a capacidade de partilhar informação à distância. Outro estudo consultado (Chen et al 2004) referente à implantação de uma rede colaborativa de partilha de informação entre arquitectos e engenheiros de estruturas, baseada na internet, mostra que é de facto possível utilizar o modelo IFC para criar um sistema de extracção automática de informação, de modo a aumentar a produtividade dos processos em fase de projecto. Por outro lado, o estudo abre a possibilidade de adoptar processos e ferramentas semelhantes, para outros domínios da construção.

Estes estudos vêem mostrar que, de alguma forma, é de facto possível implementar o modelo IFC a nível do projecto. Por outro lado, reforçam a ideia que os benefícios decorrentes de tal tecnologia estão directamente associados à capacidade de partilhar informação entre diferentes aplicações, ou seja, à interoperabilidade. É importante salientar o papel de quem produz as aplicações de software para a construção, já que cabe a eles a criação da interface da sua aplicação com o modelo IFC, o adaptador de interoperabilidade. O modelo IFC encontra-se em permanente desenvolvimento e parte dele é assegurado exactamente pelos produtores de software. Quanto mais se usar software compatível com IFC, mais se desenvolverá o modelo afinal. A função de compatibilizar um software com o formato IFC pode ser complicada, especialmente se o produtor não estiver familiarizado com o modelo. É possível tornar esta tarefa mais simples, através de ferramentas chamadas intermediárias. Um estudo (Karola et al 2002) com base na aplicação de uma das referidas ferramentas na implementação do formato IFC em softwares mostra que há de facto uma redução significativa do esforço de compatibilização, já que o mapeamento das propriedades e representações geométricas é simplificado, pois estas ferramentas simplificam a concepção dos códigos para o programa. Por outro lado, este trabalho é possível tanto para as novas aplicações, como para as que já foram lançadas. Há no entanto um senão, este tipo de ferramentas ainda se encontra em desenvolvimento, logo, não cobre todas as áreas do modelo.

Mais do que mostrar algum trabalho desenvolvido nesta área, estes estudos servem para perceber que há de facto espaço e possibilidades para implementar o modelo IFC em processos de trabalho,

sobretudo a nível do projecto, e que estas alterações se podem traduzir em benefícios em concreto, a nível de tempo e dinheiro. Contudo, o que foi dito para os BIM em relação à representatividade dos exemplos, também se aplica neste âmbito.

4
LICENCIAMENTO DE PROJECTOS

4.1. INTRODUÇÃO

O sector da construção, tal como todas as outras áreas, também se encontra sujeito à aplicação de legislação, que pode ser de diferentes tipos, fazer-se sentir a diferentes níveis e de diferentes formas. Quer isto dizer que, existem vários tipos de legislação para as diferentes fases do processo construtivo e que, dependendo da situação, a legislação pode ou não ser de carácter obrigatório. Por outro lado, as consequências do não cumprimento podem variar.

O não cumprimento das disposições regulamentares e respectiva responsabilização, é uma área que nem sempre recebe a atenção que merece, sendo que, é com maior frequência do que deveria que as disposições contratuais não são devidamente seguidas. Esta conjectura foi introduzida no capítulo 2.6, onde foi possível verificar que, o incumprimento fica algumas vezes a dever-se ao próprio desequilíbrio dos regulamentos face ao actual paradigma da construção.

O licenciamento de projectos define-se como o acto de verificação de vários aspectos de um projecto, de acordo com regulamentos, normas ou outras legislações, com vista à validação dos processos, para obtenção da aprovação do projecto por parte da entidade licenciadora, e emissão da licença de construção.

Neste capítulo serão explorados alguns aspectos da legislação aplicável à construção, mais propriamente no que diz respeito ao licenciamento de projectos, procurando perceber o valor real deste processo através da análise das dinâmicas de verificação e garantia de conformidade regulamentar, e avaliando de que forma esses processos podem integrar e interagir com os modelos de informação, procurando medir o consequente impacto no processo construtivo e intervenientes.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO

4.2.1. LEGISLAÇÃO APLICADA À CONSTRUÇÃO

O acto de licenciar um projecto pressupõe a validação dos documentos produzidos, em termos de conformidade com a legislação aplicável. No âmbito de todo o processo construtivo, a legislação aplicável pode ser essencialmente de dois diferentes âmbitos (Sousa 2009):

a) **Legislação geral**

Legislação que cobre as áreas da promoção, viabilidade e planeamento. De um modo geral, tratam-se, por um lado, de imposições de domínio público com carácter cívico e genérico, procurando sublinhar os direitos e responsabilidades de cada um, e por outro, as leis de ordenamento do território, ocupação dos solos e definição dos aspectos de protecção ambiental.

b) **Legislação sobre projectos e obras**

Inclui a toda a legislação técnica referente ao projecto, bem como as directivas de segurança e saúde, seguros, concursos, revisão de preços, licenciamento de obras e todo o tipo de legislação a ser aplicada em fase de projecto e execução.

Tanto a legislação geral como a técnica são obrigatórias. Ambas possuem carácter regulamentar, pelo que constituem decretos-lei. Já outros tipos de legislação, como por exemplo, as normas, eurocódigos ou especificações LNEC, apenas são obrigatórias se forem referidas especificamente por algum regulamento ou se impostas pelo Dono de Obra. A legislação que está na base do processo de licenciamento é a legislação técnica.

4.2.2. Paradigma do processo de licenciamento

Em teoria, um processo de licenciamento de um qualquer produto significaria uma revisão dos parâmetros de concepção por parte de terceiros, ou seja, as autoridades. Deste modo, ao receber um projecto, as autoridades iriam verificar os parâmetros de cálculo e as disposições construtivas, verificando se o resultado estaria conforme as directivas regulamentares.

Na prática, tal processo seria extremamente penoso para quem recebe o projecto. O grande número de documentos e a falta de normas apertadas de trabalho em relação à gestão da informação no processo construtivo implicaria sucessivos pedidos de informação à equipa projectista de modo a interpretar correctamente todos os documentos, resultando num processo moroso e extenuante.

O que na realidade acontece, é uma limitação do número de parâmetros a verificar, com as autoridades a confiarem nos projectistas para seguirem as directivas regulamentares, desde logo, no processo de concepção. Claro que, esta confiança não pode ser ambígua e não declarada, pois se, uma entidade licenciadora após receber o projecto emite uma licença de construção, significa o atestar da validade do projecto para utilização em fase de execução. Se mais tarde tal validade não se verificar, isso implica consequências, e como tal, todos os intervenientes têm de se proteger, sob pena de contraírem problemas com a justiça. Desta forma, o técnico responsável pelo projecto assina um documento, o termo de responsabilidade, em que atesta que o projecto se encontra conforme as disposições regulamentares, o que na realidade geralmente significa, não que o técnico fez ele próprio a verificação regulamentar, mas antes, seguiu uma série de procedimentos que antevêem a conformidade regulamentar do projecto (Poças Martins 2009).

Para perceber a importância do termo de responsabilidade no processo de licenciamento, veja-se de que maneira este influi, na óptica de cada um dos intervenientes:

a) Quanto às **entidades licenciadoras**, o termo de responsabilidade significa que estas deixam de ser responsáveis caso a conformidade regulamentar não seja cumprida, a menos do conjunto de parâmetros por si revistos.
b) Do ponto de vista dos **projectistas**, significa um incentivo à opção por metodologias de trabalho altamente eficazes e práticas assentes em conhecimento especializado, de modo a ter em conta as especificidades regulamentares desde as fases iniciais do projecto. Sublinhe-se

mais uma vez que, com a grande fatia de responsabilidade centrada no projectista, pelo facto de assinar um termo de responsabilidade, no caso de incumprimento das directivas regulamentares, este fica exposto às consequências legais subsequentes.

c) O **Dono de Obra** por sua vez só tem a beneficiar com este procedimento. Porque obtém uma garantia de um bom projecto e porque isola a responsabilidade numa entidade, o que pode ser útil, caso mais tarde entre em litígio por força de erros de concepção.

d) Quanto ao **empreiteiro**, a responsabilidade do projectista acaba por influir um pouco sobre si assim que recebe o projecto e o declara pronto para ser executado, visto que, passado o período de revisão e aceite o projecto, o empreiteiro acaba por transferir para si muita da responsabilidade do projecto pois confirmou a sua adequabilidade e exequibilidade.

A análise do papel do termo de responsabilidade na óptica dos vários intervenientes levanta algumas questões sobre o seu real valor e sobre o próprio funcionamento das dinâmicas que lhe são inerentes.

Se o termo de responsabilidade passa a responsabilidade quase na sua totalidade para o lado do projectista, então para quê a existência de uma entidade licenciadora? Será viável, para não dizer justo, concentrar toda a responsabilidade nos projectistas? Os trâmites legais do termo de responsabilidade são vinculativos, ou são também eles um pouco ambíguos a ponto de ser difícil obter facilmente resultados em caso de litígio?

Aparentemente, o termo de responsabilidade parece tornar o papel da entidade licenciadora um pouco redundante. Se a responsabilidade já se encontra atribuída, então porquê envolver mais uma entidade num processo por si só, já muito povoado? Por outro lado, a falta de uma definição clara e obrigatória de boas práticas de trabalho em projecto, leia-se normas, aliada à disseminação dos serviços não só pela transmissão de responsabilidade ao empreiteiro, mas também por via da subcontratação, tornam o projecto num produto bastante heterogéneo. Deste modo, não só o produto final é menos consistente e exacto, como a validade do próprio sistema de responsabilidade sai enfraquecida.

Os desequilíbrios do actual sistema parecem revelar a atribuição de uma certa falta de importância à fase de licenciamento de projectos. Se é frequente os projectistas apontarem os prazos da fase de concepção como sendo curtos, uma fase que é deixada para os últimos momentos e que parece sustentar-se mais na base de confiança em seguir os procedimentos correctos, do que na realidade em garantir a conformidade regulamentar através de processos de verificação, dificilmente registará os nível de atenção e exigência ideais.

4.2.3. Valorização do processo de licenciamento de projectos

A valorização dos processos de licenciamento de projectos seria uma boa forma de incentivar a melhoria das práticas de trabalho e da qualidade dos projectos. Para contornar a actual conjectura, seriam necessárias algumas mudanças estruturais na abordagem ao projecto.

As responsabilidades, garantias e seguros, são parâmetros essenciais para incentivar o cumprimento das disposições regulamentares, já que influem directamente com os interesses financeiros de terceiros, ou seja, as companhias de seguros. A menos que haja uma forte motivação (geralmente financeira), assim como as ferramentas e a experiência para accionar devidamente os mecanismos de responsabilização, será sempre bastante difícil apurar responsabilidades, logo, desacreditando um pouco o sistema de garantia, que por si só já é fraco. Face aos desequilíbrios da actual conjectura, conforme visto no capítulo anterior, apresenta-se uma proposta para um novo sistema (Freitas 2010):

- *Identificar e definir detalhadamente as obrigações e as responsabilidades dos intervenientes no processo construtivo;*
- *Desenvolver um sistema de garantias associado a seguros obrigatórios em que fosse garantida a indemnização dos beneficiários e a responsabilização dos intervenientes, análogo ao sistema francês*[7]*;*
- *Elaborar um "Código de Construção", em que fossem definidas as exigências a satisfazer pelas construções;*

Esta proposta identifica os princípios genéricos sobre os quais é necessário actuar, mas que ilustram bem as áreas importantes, merecedoras de maior atenção. Mais detalhadamente, a nível dos processos de trabalho em projecto, é necessário:

- Dar prioridade à formação e qualificação, para obtenção de conhecimento especializado
- Compilar e sistematizar a informação, de modo a normalizar a fase de projecto
- Estruturar adequadamente as especialidades e compatibilizá-las através de um gestor de projectos activo
- Incentivar a qualidade
- Adoptar ferramentas que permitam o aumento de produtividade e automação dos processos

4.3. LICENCIAMENTO AUTOMÁTICO DE PROJECTOS

4.3.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

Os temas abordados nos capítulos anteriores, salientam a importância de desenvolver e equilibrar a fase de licenciamento de projectos. Para que tal evolução se verifique, foi proposta uma série de directivas que a viabilizem. A adopção de soluções informáticas, baseadas em metodologias sistematizadas e automatizadas, apresenta-se como um dos veículos principais para implementação de tais ideias. Os BIM poderão assim ter um papel decisivo neste processo.

Um processo de licenciamento automático baseado na utilização dos BIM passará sempre pelo confronto entre dois modelos: o modelo de projecto de concepção (de notar que para cada especialidade poderão ser utilizadas diferentes aplicações) e o respectivo modelo de verificação de conformidade regulamentar.

Teoricamente, existem dois mecanismos de interacção entre os dois modelos, sendo que, para ambos, os modelos de verificação regulamentar devem ser o mais pequeno possível, e utilizar formatos universais que sejam facilmente mantidos e actualizados. Vejam-se então os dois mecanismos (Eastman 2008):

a) **Verificação directa do modelo de projecto ao longo de toda a fase de concepção**, pela utilização de actualizações do software BIM, produzidas pelas respectivas empresas, que sejam capazes de extrair a informação regulamentar local, e fazer a verificação de conformidade regulamentar, directamente a partir da aplicação onde se produz o modelo do edifício, de forma contínua ao longo do projecto. Esta á uma abordagem pró-activa já que a concepção do projecto é feita desde logo de acordo com as especificações regulamentares, tendo sempre em conta as limitações impostas. Por outro lado, como a verificação é feita directamente a partir do modelo, após a extracção bem sucedida da informação regulamentar,

[7] "Lei *Spinetta*" – Lei 78-12, de 4 de Janeiro de 1978

são evitados os problemas de interoperabilidade ao longo do processo de verificação. Deste modo, todo o processo tornar-se-ia mais expedito, intuitivo e fluido, sendo que a tarefa de verificação regulamentar seria um resultado automático do projecto e não uma tarefa adicional.

b) **Verificação indirecta do modelo na fase final de concepção**, onde o projectista extrairia de uma base de dados local, um modelo neutro (leia-se público, baseado por exemplo numa interface com o modelo IFC) de verificação do regulamento local, para o qual importaria o modelo de concepção do edifício, procedendo assim à verificação de conformidade. Esta abordagem aumenta consideravelmente os problemas de interoperabilidade, já que seria necessário fazer uma associação directa entre um qualquer modelo de informação parcial para projecto e um modelo de âmbito específico, desenvolvido segundo os princípios de um modelo completo, que possibilite a comunicação com diferentes tipos de modelos de projecto. No entanto, o modelo de verificação regulamentar teria como ponto de partida o próprio regulamento, pelo que seria mais sensível às questões específicas do mesmo, valorizando o processo de verificação, e facilitando a verificação completa de projectos por parte de terceiros, ou seja, tornando os processos de verificação mais auditáveis.

A primeira solução apresentada valoriza os processos de projecto e por isso, seria de prever que fosse melhor aceite por parte da comunidade técnica. Por outro lado, da parte das entidades licenciadoras e do Dono de Obra, a segunda opção oferece mais garantias de verificação regulamentar, sendo no entanto, mais susceptível a problemas de interoperabilidade.

O estudo apresentado no capítulo 5 baseia-se na segunda abordagem, sendo interessante aí analisar com maior detalhe, os conflitos característicos deste tipo de sistema.

4.3.2. VANTAGENS DA AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO

Introduzir mudanças estruturais em procedimentos na construção, implica sempre a sua aceitação por parte das várias entidades envolvidas. Assim, torna-se mais pertinente abordar as vantagens da automação do processo de licenciamento na óptica das mesmas:

a) Na perspectiva dos **projectistas**, o aumento de importância do licenciamento de projectos implicará com certeza uma maior preocupação pela qualidade do projecto. Dependendo do mecanismo de interacção entre modelos escolhido (conforme visto no capítulo anterior), o projectista poderá tirar ou não maior partido das potencialidades de um modelo de informação, contudo, independentemente da escolha, automatizar o processo significará um decréscimo da responsabilidade sobre si encerrada. Clarifique-se este ponto, o projectista terá uma responsabilidade acrescida em produzir um melhor projecto, já que a exigência de conformidade regulamentar aumenta, mas também por este facto, quando assinar um termo de responsabilidade, terá maior certeza que não está simplesmente a decorrer num processo burocrático necessário à conclusão do projecto, mas antes, estará de facto a atestar que o projecto se encontra segundo o que diz o regulamento. Por outro lado, automatizar o processo significa reduzir o tempo e o trabalho que antes era dispensado à compilação da documentação para licenciamento (Han et al 2003).

b) A situação das **entidades licenciadoras** apresenta características contraditórias. Por um lado, a automatização do licenciamento significa processos mais céleres e fluidos, no entanto, mesmo sendo automático, é necessário rever o processo de licenciamento sob a pena de serem passadas licenças com base em resultados falsos. Assim, é importante que a entidade

licenciadora mantenha a autonomia e a função de validar ou não os projectos. A mudança de paradigma entre uma verificação manual de parâmetros de cálculo ou disposições construtivas, para a verificação *input-output* num processo automático, implica com certeza novas dinâmicas de trabalho, cuja aceitação é incerta (Poças Martins 2009).

c) Mais do que os projectistas, em termos de resultados concretos, os grandes beneficiários de um bom projecto, assim como das vantagens de utilização dos BIM, são os **empreiteiros** e o **Dono de Obra**. O facto de o processo de licenciamento automático ser uma forma de incentivar a implementação dos BIM, e tendo em mente as vantagens que lhes são associadas, permite adivinhar por parte destas duas entidades, uma grande aceitação em relação à adopção das novas práticas descritas. Por outro lado, para os empreiteiros o licenciamento automático significa uma garantia da recepção de melhores projectos, tanto a nível de qualidade, como de ausência de erros, omissões e conflitos (Eastman 2008).

Seja por que prisma se olha para este tema, parece verificar-se que a automatização do processo de licenciamento permite obter uma melhor e mais equilibrada dinâmica de concepção – validação – responsabilização – garantia. No entanto, é necessário sublinhar que o licenciamento de projectos é uma área delicada, já que é necessário compatibilizar muita informação. As vantagens descritas só fazem sentido se efectivamente se registar um ajuste das práticas de trabalho sobretudo a nível do projecto, bem como uma sistematização dos regulamentos para que os seus parâmetros possam ser introduzidos num modelo de informação, e correctamente interpretados pelo sistema informático. No capítulo 5.2, desenvolvem-se com maior detalhe estes temas.

4.3.3. INICIATIVAS EM CURSO

Na sua obra (Eastman 2008), Eastman refere que o licenciamento automático de projectos será desenvolvido nos próximos dez anos. Considerando que nos Estados Unidos, o desenvolvimento e disseminação das soluções BIM se encontra numa fase um pouco mais adiantada que no caso português, não é certo quando se poderá beneficiar deste processo em território nacional.

Esta tendência verifica-se de um modo geral, a nível global. O licenciamento automático representa um dos grandes atractivos para utilização dos BIM, no entanto, encontra-se demasiado dependente dos avanços nas questões de interoperabilidade, bem como do ajuste e sistematização dos regulamentos.

Assim sendo, torna-se difícil encontrar aplicações destes processos, contudo, existem duas iniciativas em curso que importa referir:

a) A iniciativa "*Construction and Real Estate Network*" (CORENET), lançada em 1995, em Singapura, é referência obrigatória nos exemplos de licenciamento automático. Trata-se de uma aplicação avançada, desenvolvida numa estrutura servidor – cliente, que permite a projectistas submeterem o seu trabalho para verificação regulamentar. A internet funciona como plataforma para esta aplicação. A interacção entre o sistema de checagem e o projecto, faz-se por via do modelo IFC de acordo com a segunda abordagem vista em 4.3.1 (Teo Ai Lin 2006). A figura 21 simplifica estes aspectos num diagrama de fácil leitura. Quanto a conclusões a tirar desta iniciativa, um estudo consultado (Solihin 2004) reforça a importância de as questões de interoperabilidade sofrerem um avanço, nomeadamente em relação ao modelo IFC, de modo a poder passar à fase seguinte, ou seja, sistematizar e aplicar o conhecimento em práticas que favoreçam a implementação destas tecnologias. Por outro lado, salienta o papel decisivo dos governos, dos grandes clientes e das grandes empresas, em reforçar o esforço pela evolução do papel dos modelos de informação na construção.
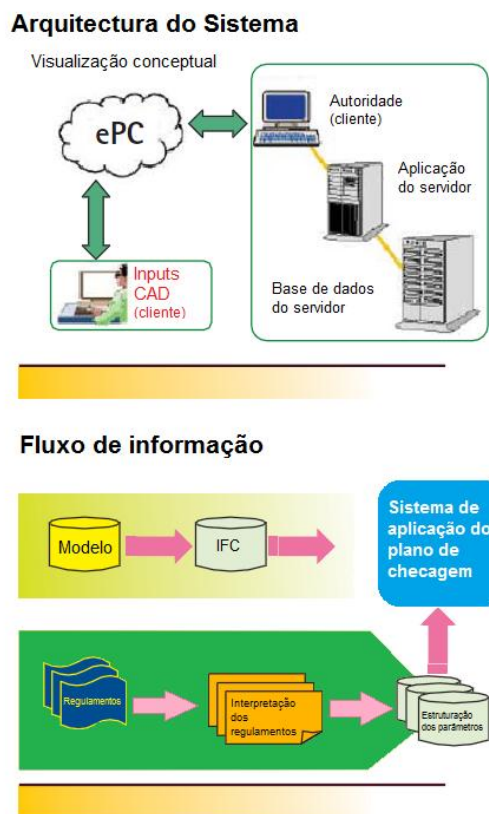
Fig. 21 - Sistematização da plataforma de verificação de conformidade regulamentar baseada na internet, desenvolvida pela CORENET (Teo Ai Lin 2006)

b) O *Solibri Model Checker* é uma aplicação desenvolvida com o intuito de analisar modelos BIM compatíveis com o formato IFC, identificando potenciais problemas, conflitos ou violações de carácter regulamentar em relação às três principais áreas do projecto: arquitectura, estrutura e instalações. Adicionalmente, a aplicação permite também visualizar o modelo do edifício, retirar quantidades e fazer a avaliação de compatibilidade entre a aplicação BIM e o modelo IFC. Trata-se portanto de uma ferramenta poderosa e completa. No entanto, é importante referir que actualmente, a aplicação é utilizada sobretudo para detecção de erros e incompatibilidades. No âmbito do licenciamento automático de projectos, verifica-se que a aplicação contém efectivamente o suporte estrutural que permite servir de fundação ao processo de licenciamento, no entanto a função ainda não se encontra activada, encontrando-se em fase de desenvolvimento e em testes com vista à implementação no sector da construção. A iniciativa do "*International Code Council*" (ICC), que à semelhança dos esforços registados em Singapura, procura criar uma plataforma de verificação regulamentar automática, utiliza uma versão personalizada do *Solibri Model Checker*, para efeitos de verificação regulamentar, e em conjunto com os "*SMARTcodes*[8]", pretende criar um sistema

[8] Os *SMARTcodes* referem a uma iniciativa do ICC que procura tornar os regulamentos mais susceptíveis aos processos de modelação, através da definição de parâmetros inteligentes que possam ser interpretados por modelos de informação. Daí a designação "*smart codes*", códigos inteligentes.

de licenciamento automático de projectos, aberto a todo o tipo de regulamentos, independentemente da localização (Khemlani 2009).

4.3.4. CONCLUSÕES

Os aspectos teóricos, bem como a análise das iniciativas em curso, permitem tirar algumas conclusões:

a) Ambas iniciativas optaram por adoptar a abordagem de importação do modelo de projecto para o modelo de licenciamento, com a interoperabilidade a ser suportada pelo modelo IFC. Deste modo, o processo de licenciamento fica vulnerável às desvantagens que lhe são inerentes, não só a nível de interoperabilidade, como também das capacidades e recursos de representação do modelo IFC.
b) Aparentemente, só quando esta abordagem for viável e expedita, é que se poderá desenvolver a integração automática dos aspectos regulamentares em fase de concepção.
c) Ter boas ferramentas não chega, é necessário os regulamentos adaptarem-se com a finalidade de poderem ser introduzidos em modelos de informação e interpretados pelo respectivo sistema.
d) Este processo ainda se encontra numa fase bastante inicial. As ferramentas existem e começam a mostrar como podem fornecer resultados. O sector da construção, sobretudo na figura das grandes empresas com mais peso no estabelecimento das tendências da indústria, terá um papel decisivo na velocidade de implementação do licenciamento automático, pelo que, irá depender da abertura com que as suas entidades recebem as ideias.

5
VIABILIDADE DO MODELO IFC NO PROCESSO DE LICENCIAMENTO AUTOMÁTICO DE PROJECTOS DE REDES PREDIAIS DE ÁGUAS

5.1. ASPECTOS GERAIS

Neste capítulo pretende entrar-se em pormenor na análise e discussão da viabilidade do modelo IFC, para o licenciamento automático de projectos conforme as directivas regulamentares.

O regulamento escolhido, o Decreto Regulamentar nº 23/95 que diz respeito às imposições a cumprir em relação aos projectos de redes de águas prediais, é bastante indicado para expor os factores negativos de um modelo completo. Trata-se de um regulamento onde figuram muitos objectos específicos, texto subjectivo e às vezes inconclusivo, e parâmetros facilmente verificáveis manualmente, mas difíceis de traduzir em princípios de modelação. O desenvolvimento de um modelo de representação do regulamento e suas especificações pressupõe uma perspectiva bastante focada, única, o que de algum modo, faz antever alguns conflitos com os princípios standard e universais que regem o desenvolvimento de modelos completos, como o IFC.

O LicA, que mais à frente será devidamente analisado (ver 5.3), representa a aplicação informática escolhida para modelar e verificar o regulamento. A programação em linguagem T-SQL, representa o maior obstáculo à realização de um estudo de compatibilidade verdadeiramente completo, por impossibilitar uma via de ligação ao modelo IFC.

Para tal acontecer, era necessário verificar-se uma das seguintes situações:

- O LicA ser desenvolvido na mesma linguagem de programação do modelo IFC, ambos em linguagem EXPRESS ou T-SQL, sendo a compatibilidade directa em tal situação.
- Existir um conversor, ou adaptador de interoperabilidade conforme o capítulo 3.3.3.5, que defina o mapa conceptual de correspondências entre objectos de diferentes modelos, bem como as instancias a percorrer para suprir eventuais ausências num modelo, em relação ao outro.

Como o primeiro ponto não se verifica, a solução deste estudo passará necessariamente pelo segundo ponto, no entanto, surge outro problema. O facto é que o LicA não contém uma função de conversão, razão pela qual, se torna inviável um estudo completo. Desenvolver tal conversor, requer conhecimentos de programação, que de modo geral, fogem um pouco das competências académicas tradicionais de um engenheiro civil. Estas restrições limitam a acção ao desenvolvimento do mapa conceptual de correspondências entre as estruturas das bases de dados. Refira-se que, não é necessário ser informático para colaborar num projecto na área dos sistemas de informação. Mais, os profissionais das restantes áreas, neste caso da construção, dão um contributo importante ao identificar quais os vectores de desenvolvimento.

Refira-se também que, em teoria, o formato ifcXML poderia representar uma boa alternativa em termos de linguagem de programação, já que o *SQL Server* importa e exporta dados para XML. Na prática, a análise realizada neste trabalho, a nível da estrutura do modelo IFC, pressupõe a disponibilidade de todos os recursos encontrados nos modelos de dados em EXPRESS. Não sendo certo que todos eles já se encontrem definidos em XML, optou-se por limitar a associação entre modelos às linguagens de programação originais dos dois modelos: T-SQL e EXPRESS.

5.2. O DECRETO REGULAMENTAR Nº 23/95 NA ÓPTICA DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO

5.2.1. ASPECTOS GERAIS

O decreto regulamentar nº 23/95 (DR 23/95) é um de vários regulamentos de carácter técnico, a considerar no que toca à verificação de conformidade de um projecto. O facto de cada um destes regulamentos apresentar características únicas que os distinguem entre si, resulta numa necessidade de avaliar os aspectos exclusivos do decreto em estudo, tendo presente a sua finalidade, o processo de licenciamento. As dinâmicas entre o DR 23/95, projecto de licenciamento e os restantes regulamentos, serão assim abordadas neste capítulo.

5.2.2. INTERACÇÃO ENTRE REGULAMENTO E LICENCIAMENTO

O regulamento de redes de distribuição predial de águas, apresenta uma série de características que o tornam num bom candidato aos primeiros desenvolvimentos de processos de licenciamento automático. Considera-se que, na presença de resultados práticos favoráveis, as outras áreas do projecto procurariam seguir o exemplo em adoptar estes sistemas. Assim, as características que o tornam ideal são (Poças Martins 2009):

- Complexidade da rede
- Geometria da rede
- Cálculo hidráulico
- Relação com o projecto geral de arquitectura
- Processo de licenciamento

Verifica-se que a modelação da rede não apresenta elevada complexidade, graças ao número limitado de componentes e à geometria simples da rede. Por outro lado, o cálculo hidráulico é feito com base em fórmulas pouco complexas, sendo que, para esta tarefa já se encontram ferramentas disponíveis no mercado, pelo que seria uma questão de transferir os princípios para o modelo. A relação com o projecto de arquitectura é também simples, já que se baseia, não em medição de quantidades, mas em identificação espacial. Num modelo completo com partilha entre projectos, este aspecto seria facilmente ultrapassado já que o projecto de arquitectura permitiria automaticamente identificar o espaço, no entanto, um modelo parcial só terá tal função se lhe for adicionada. Por fim, o processo de

licenciamento referente a esta área costuma ser independente das restantes, pelo que, em caso de estudo de implementação, as áreas de projecto que não as redes de distribuição predial seriam salvaguardadas de importunos resultantes das condições especiais impostas pelo estudo.

Se os factores referidos até agora favorecem o regulamento na perspectiva da modelação com vista ao licenciamento, convém também referir os factores que dificultam o processo (Poças Martins 2009):

- Existência de diversos regulamentos locais que tornam o processo de licenciamento automático mais complexo, já que para cada um, é necessário ajustar os vários parâmetros de cálculo e verificação. Idealmente, deveria ser adoptado um único regulamento nacional;
- Dificuldade em representar num modelo de informação, aspectos de observação directa, como por exemplo, identificar se uma zona é de fácil acesso. Tratam-se de aspectos intuitivos para a vista humana, mas bastante complexos em termos de modelação, já que, não só é necessário identificar tais situações, como também atribuir-lhes um valor qualitativo, tornando-os extremamente subjectivos;
- Necessidade em atentar à complexidade do modelo, pois como foi dito, esta área do projecto presta-se a uma avaliação isolada, pelo que poderá haver tendência para simplificar bastante o modelo. Tal abordagem não é benéfica visto aproximar-se demasiado dos processos tradicionais, limitando o impacto dos novos métodos à desmaterialização de processos e à clarificação de responsabilidades. Por outro lado, apostar num modelo demasiado robusto, pode revelar-se inviável por falta de meios e de tempo. A solução estará em criar um modelo simples, mas não definitivo, criando os meios, leia-se interfaces, para no futuro, estabelecer vias de comunicação com outros modelos;

5.2.3. ANÁLISE REGULAMENTAR

O desenvolvimento de uma aplicação de verificação automática do DR 23/95, com base nos princípios de um modelo parcial, segundo uma abordagem *bottom-up*, pressupõe uma análise regulamentar detalhada de modo a identificar quais os elementos passíveis de representação no modelo, bem como a forma como esses elementos condicionam ou são condicionados pelo funcionamento do modelo.

O desenvolvimento da aplicação e por conseguinte também a respectiva análise regulamentar, foram realizados pelo Professor João Pedro Poças Martins no seguimento da sua tese de doutoramento (Poças Martins 2009). Considera-se preferível remeter a análise regulamentar para a referida tese, de modo a ser possível conferir a totalidade da informação aí apresentada, mantendo a integridade estrutural e sequencial da consulta. Ainda assim, é conveniente referir o modo como se encontra organizada. Com efeito, o regulamento foi percorrido artigo a artigo, procurando avaliar a viabilidade de aplicação de cada um dos seguintes métodos de verificação de conformidade regulamentar:

a) **Manual**, de forma expedita, por simples observação dos elementos de projecto, para situações onde se impõe a interpretação humana, por força da grande complexidade do ponto de vista computacional em programá-la, especialmente tratando-se de um modelo parcial;
b) **Automático com base numa *checklist***, isto é, numa lista de declarações do autor do projecto, para situações ditas complexas ou trabalhosas manualmente, mas rapidamente solucionáveis do ponto de vista computacional, como por exemplo, situações de cálculo;
c) **Automático com base num modelo de informação**, para situações simples tanto do ponto de vista manual como computacional;

d) **Observação directa em obra durante acções de fiscalização**, para situações de subjectividade inerente, sujeitas a diferentes interpretações, independentemente do processo de análise escolhido;

Pretende-se com esta distinção, clarificar a interpretação do regulamento do ponto de vista de representação num modelo de informação, com todas as capacidades e limitações que lhe são inerentes.

5.3. Base de dados LicA

5.3.1. Aspectos gerais

LicA (Licenciamento Automático) é a designação da aplicação informática de verificação automática da conformidade de projectos de sistemas de distribuição predial de água de acordo com Decreto Regulamentar nº 23/95, desenvolvida pelo Professor João Poças Martins no seguimento da sua tese de doutoramento, com o objectivo de satisfazer os seguintes critérios genéricos (Poças Martins 2009):

a) Proposta de um formato padrão para a representação de sistemas de distribuição predial de água que possa ser aplicado ao licenciamento automático de projectos;

b) Desenvolvimento de metodologias de verificação regulamentar, baseadas nas disposições em vigor;

c) Desenvolvimento de aplicações informáticas que interajam com os modelos elaborados;

A aplicação foi desenvolvida na linguagem de programação T-SQL (*Transact Structured Query Language*), formato de texto que define os parâmetros da base de dados em vários conjuntos de tabelas, segundo os princípios característicos e estruturais dos modelos de informação. O facto de a aplicação ter como objectivo concreto e definido, a verificação de um determinado regulamento, teve bastante peso na opção por uma abordagem minimalista, do tipo *bottom-up*, característica de um modelo verdadeiramente parcial. A alternativa seria adoptar um modelo menos parcial, através da ligação directa a uma aplicação já existente, limitando assim o trabalho à criação de uma extensão da aplicação. Contudo, tal não se verificou. A opção por uma aplicação independente foi sustentada essencialmente por três factores. A utilização de uma linguagem estável e com potencial de interoperabilidade, capaz de suportar os problemas de compatibilização de formatos e de actualização, a falta de um modelo standard com sucesso e aceitação real, e a capacidade de produzir diferentes formatos de outputs que satisfaçam as preferências de diferentes tipos de utilizadores. A figura seguinte simplifica os vários aspectos de concepção e funcionamento da aplicação:
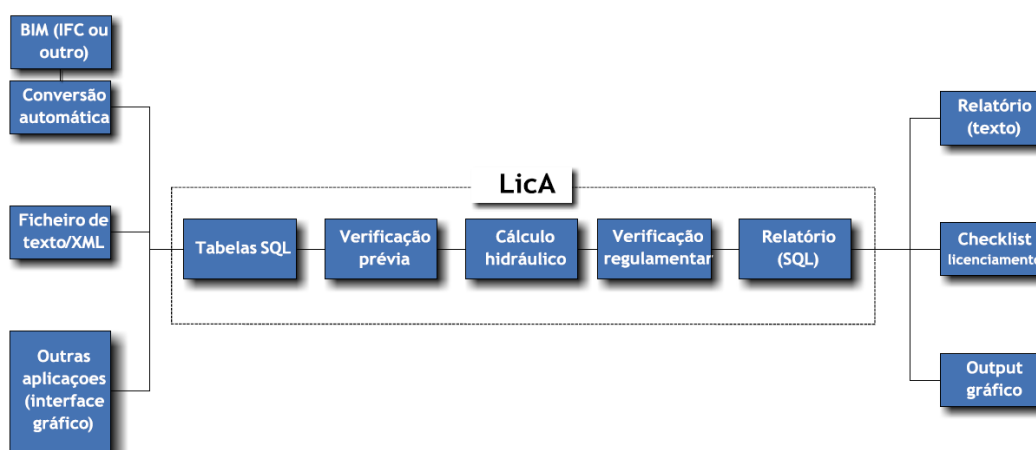
Fig. 22 - Representação esquemática geral da aplicação LicA (Poças Martins 2009)

5.3.2. Caracterização estrutural da aplicação

A estrutura da base de dados LicA, foi pensada de modo a abrir portas a outras aplicações, na medida em que é funcionalmente independente de qualquer outra aplicação externa embora possa aceitar inputs provenientes de outros programas e lhes permita o acesso à informação que contém. Assim, além de possibilitar o armazenamento de toda a informação referente ao modelo, a base de dados da aplicação também contém as ferramentas necessárias para alteração de dados, sendo a integridade destes assegurada através de mecanismos e rotinas presentes na mesma. As grandes vantagens desta abordagem prendem-se essencialmente com a possibilidade de introduzir inputs de mais de uma forma, e especialmente, de obter os outputs necessários de forma facilmente assimilável, graças à possibilidade de aceder à base de dados do modelo com aplicações externas, de acordo com os métodos e ferramentas de trabalho standards do utilizador, sem ter necessariamente de alterar a organização conceptual do modelo de informação.

Seguidamente à produção do modelo de informação LicA, foi desenvolvida de raiz, uma interface gráfica para a base de dados LicA. Resumidamente, a interface permite o acesso directo à base de dados, ou por outras palavras, permite aceder de forma gráfica a funções de criação e edição de modelos em geral, de cálculo hidráulico, de verificação regulamentar e de geração de documentos de trabalho, peças escritas e desenhadas, tais como plantas e cortes, esquemas isométricos da rede, relatórios de cálculo hidráulico (caudais de cálculo, pressões na rede e velocidades), medições e relatórios de verificação regulamentar com tabela resumo e representação gráfica dos resultados das verificações efectuadas (Poças Martins 2009).

As funções executadas pela aplicação LiCAD em relação à base de dados LicA são na sequência do diagrama da figura 22, descriminadas da seguinte forma:
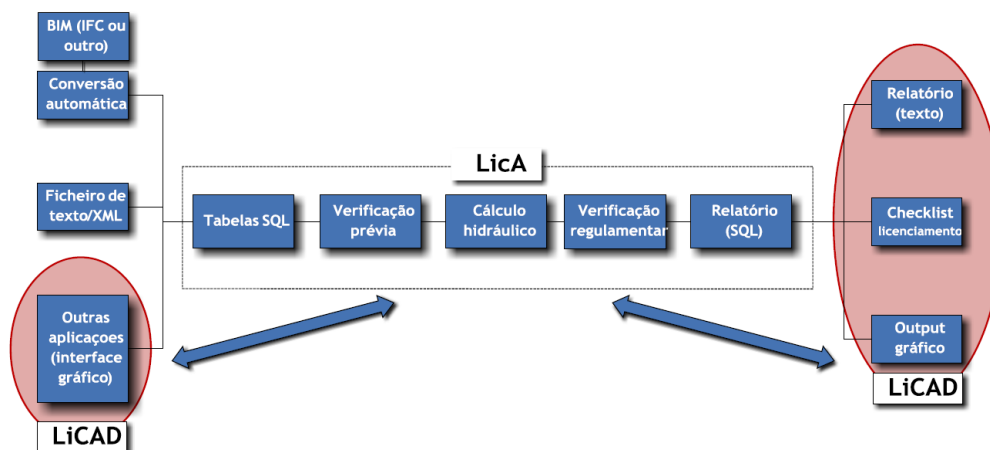
Fig. 23 - Relação entre LiCAD e LicA (Poças Martins 2009)

Tendo em vista a disponibilização de uma grande quantidade da informação pertinente de forma compartimentalizada, a interface gráfica foi divida em quatro separadores diferentes, conforme a figura 24. Num primeiro separador, procede-se à definição do modelo através da determinação e consulta das propriedades da rede, bem como do estabelecimento dos parâmetros de vista e perspectiva. De seguida, no separador de análise hidráulica, é feito o cálculo hidráulico da rede e são disponibilizados os resultados, em termos dos parâmetros relevantes, caudais, velocidades, comprimentos das ligações, e pressões e caudais nos nós. O separador da verificação regulamentar permite correr a rotina da base de dados LicA, de modo a caracterizar a condição de conformidade regulamentar da rede. O separador final, produz um conjunto de documentos que sintetizam os processos desenvolvidos e os resultados obtidos, sob a forma de folhas de medições, relatórios de cálculo hidráulico e relatórios de verificação de conformidade regulamentar.
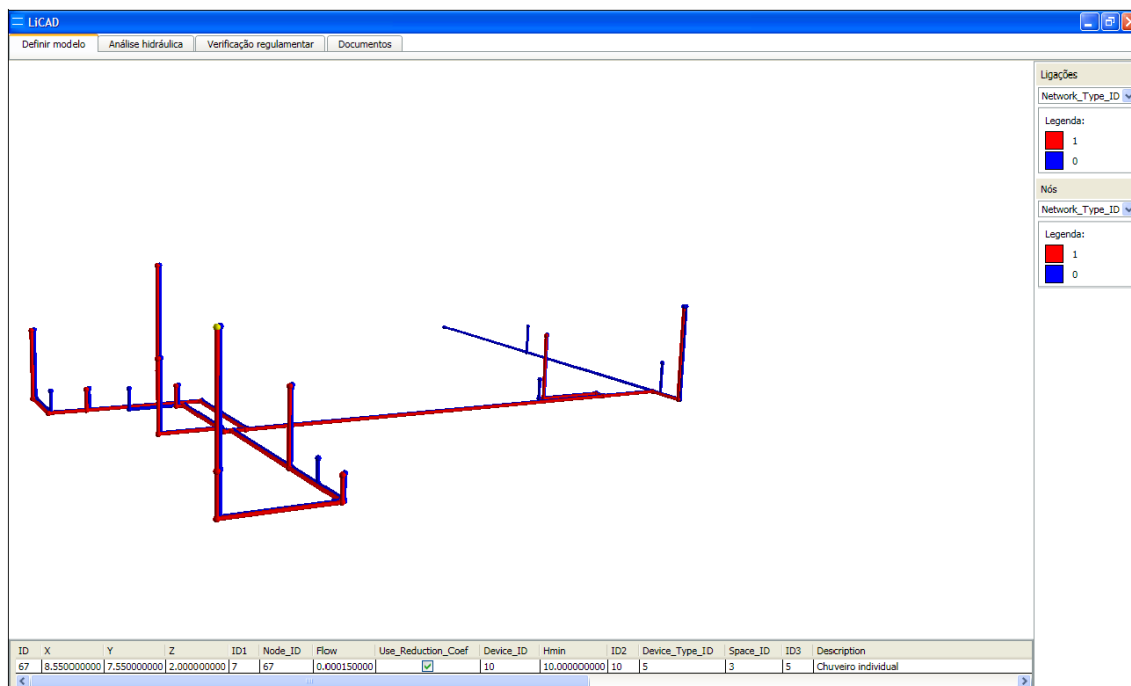
Fig. 24 - Interface gráfica da aplicação LiCAD (Poças Martins 2009)

Mais do que a interface gráfica, o que interessa verdadeiramente num programa de licenciamento, são os outputs. Porque são estes que irão no futuro representar a memória descritiva e constituir a prova do trabalho e das verificações feitas, torna-se fundamental perceber de que forma é que os resultados dos processos desenvolvidos pelo programa se transformam em resultados utilizáveis para o utilizador. Por outras palavras, é necessário descobrir quais os outputs da aplicação. Assim, estes dividem-se em representações gráficas e representações escritas.

As representações gráficas podem ser estáticas, correspondendo às formas tradicionais das peças desenhadas de projecto sob a forma de plantas, cortes e axonometrias, ou dinâmicas, representando a interface da área de trabalho.

O facto de as ferramentas de modelação não constituírem um standard em relação ao licenciamento de projectos, e desse modo, os regulamentos não serem desenvolvidos para ser introduzidos num modelo, mas sim para serem abordados manualmente, implica que para a interpretação automática do regulamento ser o mais adequada possível, sejam feitas simplificações, distorções e outras modificações, de modo a poder introduzir determinados parâmetros ambíguos e a representar todos os elementos necessários, e como tal, verifica-se que as representações gráficas não constituem representações completamente rigorosas conforme as peças desenhadas tradicionais.

Esta ideia também se aplica às peças escritas, já que tais adaptações são feitas a nível conceptual. No entanto, a aplicação já produz um volume muito significativo de resultados, que em termos escritos, também são divididos a nível estático, sob a forma de relatórios, e a nível dinâmico, referentes à área de trabalho, com função não só descritiva, mas também interactiva, ou seja, possibilitando a alteração do modelo. Conforme o que foi visto anteriormente, existem três tipos distintos de relatórios. Os relatórios de verificação de conformidade regulamentar, representam listagens dos resultados da verificação regulamentar, organizados por artigo, por componente da rede ou por gravidade da não conformidade. Os relatórios de medições, que na ausência de normas, adoptaram as linhas de orientação definidas pelo LNEC (Fonseca 1998), apresentam uma utilidade elevada, já que os mapas de quantidades constituem trabalho obrigatório, mas também extenuante e muitas vezes incorrecto, pelo que, a sua geração automática, alteraria esta situação. Falta referir o relatório de cálculo, que não passa de uma tabela resumo dos cálculos efectuados contendo informação acerca dos caudais, velocidade e pressões ao longo da rede.

5.3.3. MODELAÇÃO DA REDE – ELEMENTOS CONSTITUINTES

A verificação de um regulamento de águas prediais implica a modelação de vários elementos bastante específicos. Se é verdade que já se encontra disponível no mercado, um número assinalável de aplicações BIM, também o é que essas aplicações têm um foco sobretudo na perspectiva da arquitectura ou estrutura do edifício. As ferramentas utilizadas nessas áreas, de modo a caracterizar os respectivos elementos constituintes, tais como paredes, vigas, pilares, janelas ou portas entre outros, são assim inadequados para a caracterização hidráulica de um edifício, pelo que, apenas as definições geométricas, espaciais e paramétricas se contabilizam entre as que serão aproveitadas na área do abastecimento de águas.

Tal como foi referido anteriormente, a aplicação LicA utiliza uma abordagem *bottom-up*, o que na prática, significa que o desenvolvimento da aplicação começou pela revisão do regulamento, que através das suas imposições, estabelece quais os elementos que são necessários modelar, de forma a se poder verificar automaticamente a conformidade regulamentar. Como tal, apresentar-se-á de seguida uma breve descrição desses mesmos elementos, presentes no LicA.

Antes de mais, a definição geral da rede. A rede é constituída por nós e ligações, sendo esta constituição comum tanto para redes de águas frias, como para redes de águas quentes. De sublinhar esta distinção, já que são obrigatoriamente redes diferentes, ainda que com constituições semelhantes. Semelhantes e não iguais, tendo em conta o facto de, por exemplo, ser necessário isolar termicamente as redes de águas quentes.

Na aplicação LicA, os nós podem ou não ter uma função específica, ou seja, podem ser associados a dispositivos ou acessórios de rede, com as respectivas propriedades hidráulicas características, pressão e caudal, as quais representam um consumo associado ao nó, ou então, podem meramente corresponder a elementos necessários à caracterização da rede, mas não terem consumos associados. De referir que um dispositivo pode conter vários nós, pelo que essa distinção é claramente feita na definição das tabelas de definição de objectos. Por outro lado, um nó pode ter uma terceira função associada, funcionar como um reservatório, pelo que as especificidades da distinção implicam o desenvolvimento de uma classe diferente.

Quanto às ligações de rede, contabilizam-se três tipos distintos: canalizações, bombas e válvulas.

Essenciais na definição da classe canalização ou tubagem, estão outros três factores. A localização da tubagem, dentro ou fora do edifício, a existência ou não de isolamento térmico e o material da tubagem.

As válvulas apresentam também várias particularidades. A importância de distinguir claramente qual a válvula em questão, percebe-se pelo facto de a cada uma serem associadas diferentes propriedades. Assim, à luz do regulamento, é necessária a modelação de válvulas de seccionamento, retenção, segurança, redutora de pressão e regulação.

As bombas não apresentam subdivisões, pelo simples facto que apenas é necessário verificar uma propriedade, a altura de elevação em metros. Assim, a distinção poderia ser feita simplesmente em termos de cumprir ou não a respectiva exigência.

A localização da rede é também um factor condicionante à luz do regulamento, já que as relações entre os espaços e as redes resultam em diferentes propriedades.

Em relação a elementos a definir, faltam referir os materiais e dispositivos de utilização e acessórios de rede, elementos definidos em conjunto com todos os restantes, nas tabelas do anexo A.

À semelhança deste último ponto, para todos os outros elementos é possível consultar as tabelas de definições da aplicação, importadas directamente da bibliografia (Poças Martins 2009).

5.4. RECURSOS DISPONIBILIZADOS PELO MODELO IFC

5.4.1. ASPECTOS GERAIS

Tendo como ponto de partida a análise efectuada em 3.5, interessa agora aprofundar o estudo do modelo IFC, para tentar perceber de que modo é que este pode interagir com o programa de licenciamento automático (LicA).

Como modelo standard e universal que pretende ser, a totalidade do modelo IFC encontra-se disponível para consulta na internet, sem qualquer tipo de restrições de acesso, através do endereço electrónico da IAI (IAI 1996-2010)[9].

[9] Na bibliografia encontra-se o respectivo endereço electrónico.

A modelação do sistema de redes prediais segundo os princípios do modelo IFC é assegurada sobretudo por dois módulos. Presente na camada de interoperabilidade do modelo IFC, o módulo dos elementos de serviços comuns de edifícios assegura especialmente a definição de elementos da estrutura da rede, enquanto o módulo das canalizações e segurança contra incêndios, incide mais sobre os elementos terminais. Nos próximos capítulos, os dois módulos serão analisados mais aprofundadamente. Adicionalmente, considerando o facto de os dois módulos referidos não serem suficientes para modelar todos os componentes da rede, também neste capítulo se mostrará quais os recursos fornecidos pelo modelo IFC, para estender a sua gama de representações.

5.4.2. MÓDULO DAS CANALIZAÇÕES E SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

Os elementos do regulamento de redes de águas prediais passíveis de representação num modelo de informação são especificados sobretudo no módulo *IfcPlumbingFireProtectionDomain* (canalizações e segurança contra incêndios) presente na camada dos domínios de aplicação.
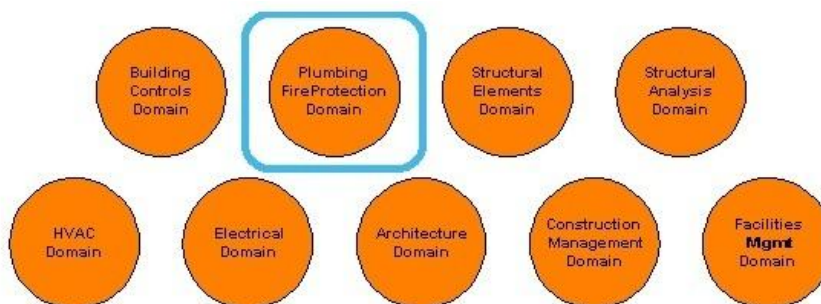
Fig. 25 - Camada dos domínios de aplicação do modelo IFC. Destaque do módulo das canalizações e segurança contra incêndios (IAI 1996-2010)

Este módulo foca-se nos componentes dos serviços de edifícios relacionados com abastecimento e saneamento de águas em redes prediais. Tratando-se de um domínio de aplicação, este módulo representa uma extensão e especialização dos recursos de modelação de sistemas de distribuição, definidas no módulo de elementos de serviços comuns de edifícios, pelo que, as suas entidades serão definidas como subtipos do módulo de serviços comuns. De seguida, são listadas as várias classes presentes no módulo das canalizações e segurança contra incêndios, seguidas da respectiva entidade do módulo dos serviços comuns, que a define como subtipo:

- *IfcFireSuppressionTerminalType – IfcFlowTerminal*

  Define as propriedades para todas as formas de irrigadores, aspersores e todos os outros elementos de distribuição de águas necessários ao suprimento de incêndios.

- *IfcInterceptor – IfcFlowTreatmentDevice*

  Define as propriedades do conjunto de dispositivos desenvolvidos para separar ou reter matéria indesejável, permitindo o funcionamento normal das redes de drenagem.

- *IfcSanitaryTerminalType – IfcFlowTerminal*

  Define as propriedades do conjunto de elementos sanitários de um edifício, como chuveiros, lavatórios, sanitas, entre outros.

- *IfcStackTerminalType – IfcFlowTerminal*

Define as propriedades dos elementos de protecção das extremidades dos sistemas de recolha de águas pluviais.

- *IfcWasteTerminalType – IfcFlowTerminal*

Define as propriedades dos elementos de drenagem de esgotos.

Em cada uma destas entidades, encontram-se definidos, o mais especificamente possível, os elementos desta área da concepção de edifícios, ou por outras palavras, encontram-se definidos os *property sets*, ou tabela de propriedades, dos elementos (consultar 5.4.4 para maior desenvolvimento deste tema). Como exemplo, no *IfcSanitaryTerminalType*, encontra-se definido o que é um lavatório.

Para a modelação de redes prediais, o *IfcSanitaryTerminalType* é a entidade que contém a maioria dos elementos necessários, com os elementos das restantes entidades a serem necessários apenas pontualmente.

Falta referir que o domínio de aplicação *IfcPlumbingFireProtectionDomain* contém ainda um conjunto de disposições complementares, pensadas exactamente para suportar os requisitos típicos da verificação automática de conformidade regulamentar:

- *Catchment – IfcSpatialStructureElement*
- *Culvert – IfcSystem*
- *Drainage reserve – IfcSpatialStructureElement*
- *Outfall – IfcProxy*

Tal como na enumeração dos tipos de distribuição visto anteriormente, também neste caso aparecem as entidades seguidas das classes nucleares ou de interoperabilidade necessárias à sua definição. Há contudo uma grande diferença. Enquanto no caso anterior, os *property sets* se encontravam definidos no próprio modelo IFC através de entidades explícitas, neste caso, tal não acontece, restringindo-se assim à disposição das instâncias que é necessário percorrer, de modo a definir a entidade em causa. Porque os *property sets* não se encontram definidos no modelo IFC, tendo antes uma fonte exterior, então também a sua descrição não é disponibilizada. Fica deste modo registada a intenção em dar seguimento à introdução de novas classes a este domínio, com a intenção de promover avanços não apenas na área das redes prediais de água, mas também a nível do licenciamento automático de projectos.

5.4.3. MÓDULO DOS ELEMENTOS DE SERVIÇOS COMUNS DE EDIFÍCIOS

Presente na camada de interoperabilidade, este módulo define conceitos básicos referentes aos serviços comuns de edifícios, nomeadamente sistemas de distribuição de vários tipos, necessários para a interoperabilidade entre domínios de aplicação referentes a instalações em edifícios, tais como AVAC, distribuição de águas, segurança contra incêndios, instalações eléctricas e controlos em edifícios (alarmes, sensores, entre outros).
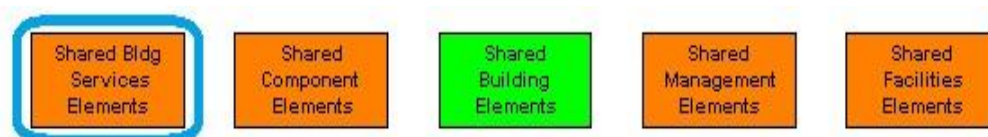
Fig. 26 - Camada de interoperabilidade. Destaque do módulo dos elementos de serviços comuns de edifícios (IAI 1996-2010)

Os conceitos base incluem definições básicas de ocorrências tipo para sistemas de fluxos e distribuição, bem como propriedades fundamentais em cenários habituais de serviços de edifícios (propriedades de fluxo de águas, propriedades eléctricas, propriedades térmicas, etc.).

A estrutura deste módulo está desenhada para utilizar bastante os conceitos de tipo, ocorrência e performance, conforme a figura 27.
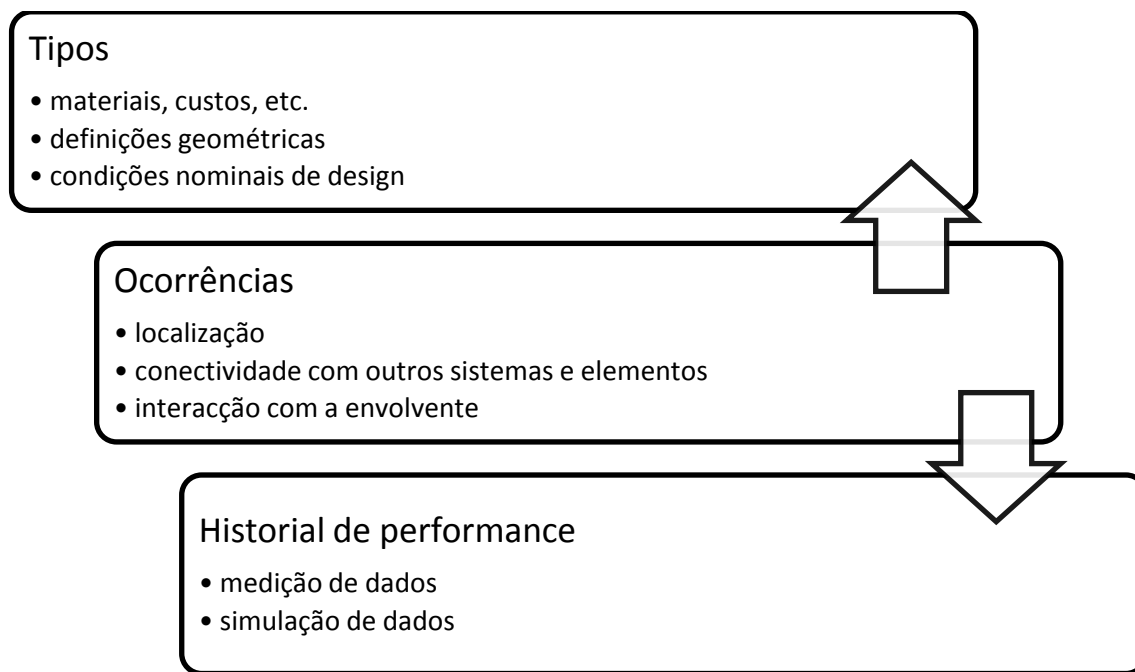
Fig. 27 - Conceitos de representação de objectos (IAI 1996-2010)

Um tipo ou elemento pode ter zero ou muitas ocorrências. Cada ocorrência pode ter vários historiais de performance, possibilitando que os dados específicos de uma dada fase, possam ser retidos e mantidos durante todo o ciclo de vida do edifício.

A estrutura do módulo distribui os serviços simetricamente em tipos e ocorrências, sendo a função principal da entidade em questão, o que determinará a sua classificação dentro dos seguintes conceitos genéricos, que representam os tipos de elementos definidos neste módulo:

- Câmara de distribuição
- Dispositivo de conversão de energia
- Controlador de fluxos
- Conector de fluxos
- Dispositivo de movimento de fluxos
- Segmento de fluxos
- Dispositivo de armazenamento de fluxos
- Terminal de fluxos
- Dispositivo de tratamento de fluxos

A cada um destes conceitos genéricos, corresponde uma entidade, na qual é possível consultar os *property sets* dos elementos que a mesma contém.

Tendo presente o tipo de abordagem estrutural do modelo IFC, percebe-se que apesar dos esforços em representar o maior número possível de objectos, será muito difícil satisfazer todas as necessidades.

Assim, em determinadas situações verifica-se que o modelo contém uma classe genérica sem que os respectivos objectos se encontrem bem definidos, sob a forma de uma entidade ou de um *property set*, sendo necessária a definição dos objectos segundo uma destas duas formas. Em 5.4.4 este tema será retomado.

À análise dos tipos, segue-se a análise das ocorrências. Segundo a figura 27, as ocorrências tratam o posicionamento ou colocação do elemento, e a conectividade e interface com os outros elementos ou sistemas do edifício. Assim, as propriedades das ocorrências, ao contrário das dos tipos, não são materiais ou dimensionais, mas antes espaciais e físicas. Veja-se a lista das classes referentes às ocorrências:

- Elemento de controlo de distribuição
- Elemento de fluxo de distribuição
- Porta de distribuição
- Propriedades eléctricas base
- Propriedades de energia
- Propriedades do fluxo de fluidos
- Relações para elementos de controlo de fluxo
- Propriedades sonoras
- Valor do som
- Propriedades térmicas dos espaços

Mais do que saber qual o papel individual de cada uma das entidades, interessa reter que muitas delas constituem a base para a definição de outros tipos de classes, tipos de elementos ou propriedades de elementos (através de *property sets*).

A relevância destes aspectos prende-se com o facto de não ser suficiente identificar o modelo IFC como tendo o potencial para traduzir os requisitos do regulamento num modelo de informação, mesmo quando o modelo não inclui todos os objectos definidos. É necessário confirmá-lo e verificar a extensão desse mesmo potencial, pela verificação dos recursos existentes para modelação de novos objectos.

Outro aspecto importante, é de relembrar que apesar de o modelo possuir as ferramentas standard que permitem a criação de novos objectos, tal processo terá de ser desenvolvido necessariamente por quem produz o modelo parcial de licenciamento automático. Qualquer alteração (e/ou adição) aos recursos standard do modelo IFC, leia-se à estrutura da base de dados do modelo, só será levada a cabo quando tais objectos constituírem uma necessidade global, tal como por exemplo, é uma necessidade global a capacidade de representar um pilar ou uma viga.

5.4.4. DEFINIÇÃO DE *PROPERTY SETS*

Os elementos do regulamento de distribuição de águas prediais são bastante específicos, ou antes, possuem propriedades muito específicas. Já foram referidas as particularidades de um modelo completo como o modelo IFC, e como tal, nesta perspectiva, é bastante provável que o modelo não apresente de base todos os elementos e todas as propriedades correspondentes para a definição dos elementos da rede. A possibilidade de definir e atribuir propriedades a elementos e ocorrências (ou seja, relacioná-las com o modelo) é assim fundamental na perspectiva de um modelo de informação.

Identificar as correspondências directas entre um modelo completo como o IFC e um modelo parcial, não é suficiente para avaliar a sua compatibilidade. Porque quem pretender que o modelo parcial tenha interface IFC, terá necessariamente de desenvolver o adaptador de interoperabilidade, então além de identificar as correspondências directas, será necessário identificar, se e de que forma (com que ferramentas, leia-se entidades) é possível criar novas associações, quer pela criação de novos elementos, quer pela criação de novas ocorrências ou pela adição de propriedades aos mesmos.

A definição de novas propriedades, suportada pelo módulo *Kernel* (módulo nuclear), representa a generalização de todas as características dos objectos, reflectindo a informação específica do elemento e se pertinente, também a informação relativa à ocorrência. Por outro lado, mostra também as instâncias a percorrer, ou por outras palavras, as outras entidades e classes a que é preciso recorrer (se necessário) para a definição das propriedades. No modelo IFC, estes conceitos são materializados por via da entidade *IfcPropertyDefinition*.

A aplicação das propriedades aos respectivos objectos é obtida através dos conceitos de relações entre objectos presentes na entidade *IfcRelationship*, a qual define os cinco tipos fundamentais de relações do modelo IFC: atribuição de ligações internas, associação de informação externa, decomposição dos conceitos gerais, definição de propriedades e conectividade entre objectos.

Conceptualmente, o processo de definição de propriedades assume o seguinte aspecto:
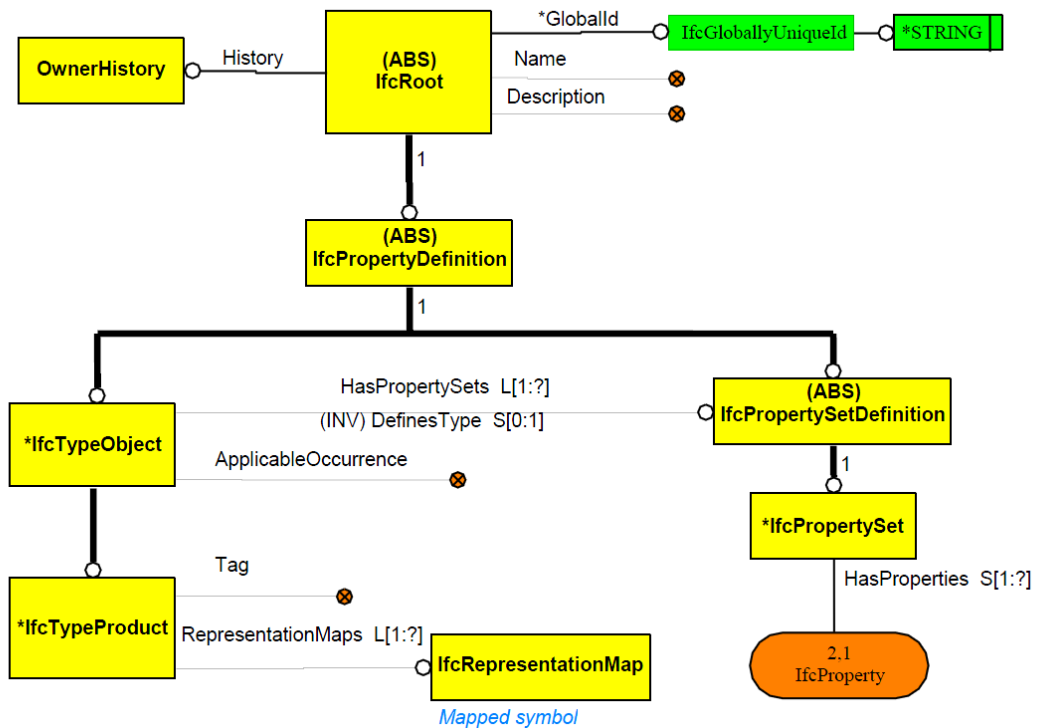
Fig. 28 - Modelo conceptual para definição de propriedades (Wix 2010)

O mapa conceptual de definição de propriedades mostra que este processo se desenrola a vários níveis, com várias diferentes finalidades. Assim, este processo permite (Wix 2010):

- Através dos recursos de relações entre objectos, adicionar dados informativos não geométricos, a uma entidade em CAD convencional
- Relacionar mais do que um *property set* a um único objecto

- Relacionar um *property set* a vários objectos
- Reunir vários *property sets* que normalmente são utilizados juntamente, num único objecto (*IfcTypeObject*)
- Organizar objectos e respectivos *property sets* num produto (*IfcTypeProduct*)
- Relacionar o produto com outro objecto
- Utilizar os *property sets* para registar o historial de performance de um objecto durante o tempo

Um *property set* define-se como um depósito de propriedades devidamente descriminadas pelo nome, e organizadas segundo uma estrutura ramificada do tipo árvore. A importância dos *property sets* em modelos completos é sublinhada pela necessidade de expandir o modelo, de adicionar informação, sem introduzir mudanças estruturais. Porque na construção existe um número demasiadamente elevado de componentes diferentes, não seria viável criar uma nova classe sempre que fosse necessário definir as propriedades de um novo grupo, sob a pena de tornar o modelo demasiado pesado e por isso difícil de implementar e suportar (Wix 2010).

Esta ideia é importante para perceber as dinâmicas de utilização do modelo IFC. De facto, o modelo fomenta a colaboração dos utilizadores que pretendem implementá-lo e como tal, sendo os *property sets* um quadro de trabalho standard para introdução de informação definida pelos utilizadores, representam uma ferramenta valiosa para estes processos.

A próxima figura, ilustra estes princípios de modo muito simples e intuitivo, mostrando como o aumento do grau de especialização pretendido, é acompanhado por uma mudança em quem introduz os inputs.
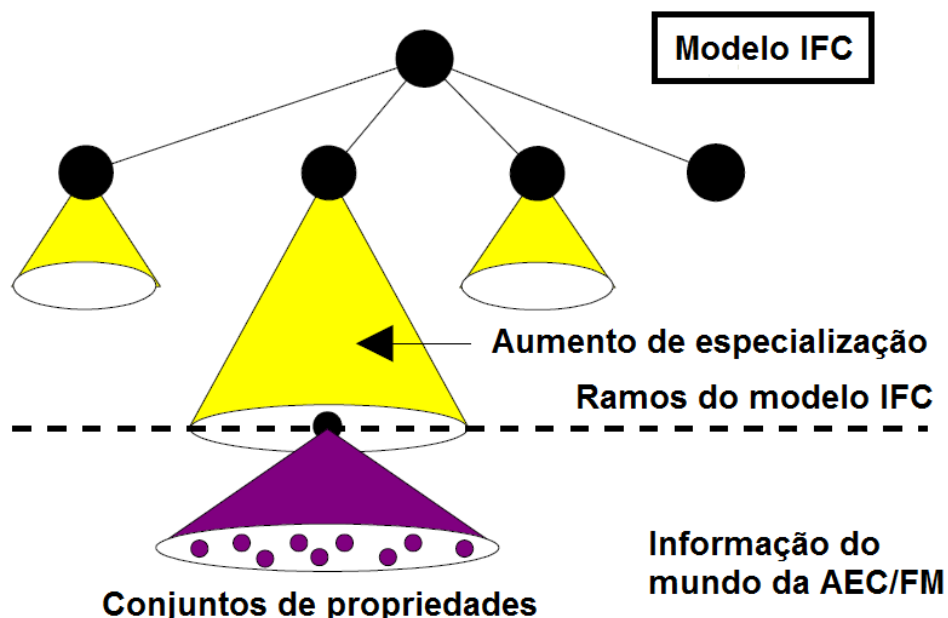
Fig. 29 - Esquematização da relação entre especificidade da representação e responsabilidade de definição de propriedades (Wix 2010)

Na definição de propriedades, é necessário ter em conta os seguintes aspectos:

- Definição da informação específica do tipo de objecto, referindo ao nível onde o objecto se encontra na hierarquia do paradigma de modelação, *genérico – específico – ocorrência*;
- Definição do conjunto de propriedades de elementos ou ocorrências, estabelecendo um conjunto de parâmetros extensíveis e partilháveis anexados a cada objecto, bem como um subconjunto de informação comum entre objectos;
- Definição dos seguintes atributos para cada propriedade:
  - Nome – fundamental para atribuir significado à propriedade;
  - Descrição – caracterização da propriedade;
  - *Property set* a que pertence;
  - Referências externas – livrarias, classificação ou documentação associada à propriedade;
  - Dependências – de, ou para outras propriedades;
  - Complexidade – define se pertence a um conjunto de propriedades que define uma sub-propriedade de uma propriedade;
  - Tipo de valor atribuído (com ou sem unidades):
    - Valor unitário
    - Valores fronteira
    - Lista de valores ordenada
    - Selecção de valores
    - Tabela de valores dependentes

Conceptualmente, os processos descritos referentes às instâncias a percorrer para atribuição de significado de modelação a uma propriedade, organizam-se da seguinte forma:
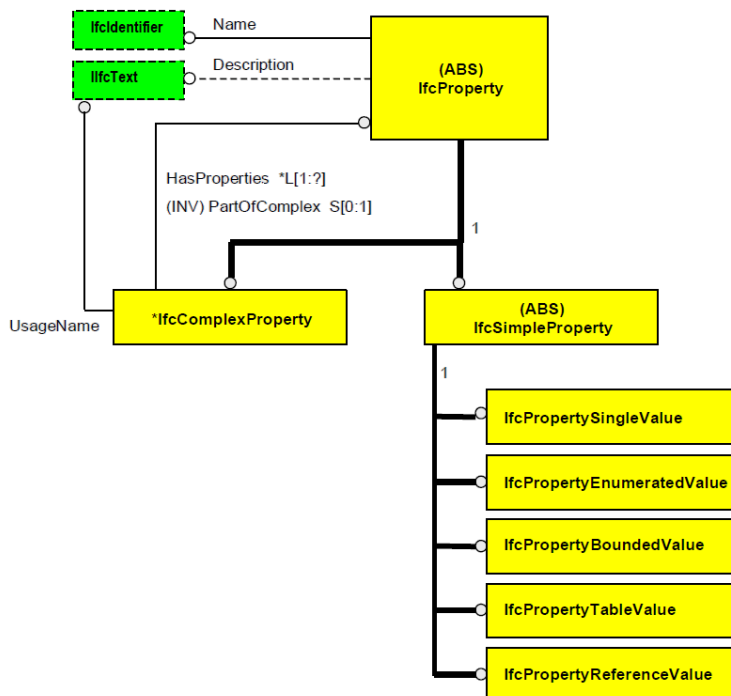
Fig. 30 - Subtipos da classe de propriedades (IAI 1996-2010)

Em termos de estrutura do modelo IFC, a definição de *property sets* é assegurada pelo *IfcPropertySetDefinition*. Esta entidade representa uma generalização de todos os recursos disponíveis para a definição de *property sets*. Os recursos dividem-se em:

- **Templates de *property sets***

  Assegurados pelo *IfcPropertySetTemplate*, definem a colecção de templates que estabelece padrões para a definição de propriedades. Os templates podem definir o nome, descrição, tipo de dados, unidades ou expressões standard.

- **Ocorrências de *property sets***

  - Dinamicamente extensíveis

    Assegurados pelo *IfcPropertySet*, definem o conjunto de propriedades que representam o quadro de trabalho a ser seguido pelos utilizadores na definição de propriedades. Aplicável aos casos em que é necessário criar uma nova entidade para o *property set*, sendo necessário definir os atributos conforme visto anteriormente.

  - Estáticos

    Assegurados pelo *IfcPreDefinedPropertySet*, definem os *property sets* já existentes na estrutura do modelo IFC. Estabelece o significado semântico de cada conjunto de propriedades, através da associação entre o nome e o tipo de dados referentes a determinada entidade.

5.5. COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS – ANÁLISE TEÓRICA

5.5.1. INTRODUÇÃO

A avaliação da aplicabilidade do modelo IFC ao licenciamento automático de redes prediais de águas acaba por ser uma área um pouco cinzenta na falta de um caso de estudo concreto. Justifica-se esta afirmação pelo simples facto que, uma verdadeira avaliação de compatibilidade pressupõe não só uma pesquisa teórica, como também uma avaliação prática, com base em experimentação sucessiva, passível de ser traduzida em resultados reais, a serem depois organizados através de análises estatísticas e de sensibilidade. Por mais que uma avaliação teórica procure avaliar factos, a verdade é que os mecanismos por trás, tanto dos modelos de informação, como das aplicações informáticas, nem sempre são claros, especialmente para os não especialistas de programação. Quer isto dizer que, normalmente, conhecem-se os inputs e os outputs mas não o processo intermédio. Deste modo, é mais difícil aferir com toda a exactidão os outputs do modelo. Por outro lado, embora a estrutura conceptual do modelo IFC seja disponibilizada, revelando a extensão dos seus domínios de aplicação e modelação, a verdade é que os resultados reais, ou os outputs reais, irão depender dos adaptadores de interoperabilidade que não estão ao cargo de quem desenvolve o modelo IFC, mas sim de quem desenvolve os modelos ou aplicações que pretendem ter essa interface.

Nos próximos capítulos, será então levada a cabo uma avaliação teórica, através da comparação da estrutura conceptual do modelo IFC, com a da aplicação de licenciamento automático LicA.

A abordagem tomada para este estudo estabelece a estrutura da base de dados LicA como o ponto de partida, seguindo-se o modelo IFC, e acabando na análise das correspondências caso a caso. A tabela 18 do anexo B mostra os resultados deste estudo, organizados de forma resumida e simples.

A identificação dos parâmetros do LicA passíveis de representação foi feita com base nas tabelas do anexo A, seguindo-se a verificação dos objectos homólogos no modelo IFC, procurando perceber a ordem de correspondência entre ambos.

5.5.2. TIPOS DE CORRESPONDÊNCIA

5.5.2.1. Aspectos gerais

Após estudar os dois modelos, foram identificados três tipos de correspondências entre objectos LicA e objectos IFC, aos quais foi atribuído um código de cores, representativo do grau de proximidade entre atributos de representação.

Assim, a cor verde foi utilizada para identificar os objectos cuja correspondência é directa. Quer isto dizer que existe uma entidade no modelo IFC que define directamente a classe ou objecto que se pretende modelar no LicA.

Aos casos em que a um objecto do LicA não corresponde um elemento específico, mas antes uma classe genérica, foi dada a cor amarela. Note-se que para este caso, existe uma correspondência indirecta, pois será necessário primeiro definir as propriedades do objecto.

No terceiro caso, foi dada a cor vermelha a todos os objectos do LicA cuja correspondência no modelo IFC seja demasiado genérica ou inexistente e portanto indeterminada. A definição do objecto é no entanto possível já que o modelo IFC foi desenvolvido exactamente para fornecer as ferramentas adequadas para suprir os objectos em falta, pelo que, se procurou identificar quais as entidades necessárias para a realização desse processo.

5.5.2.2. Correspondências directas

Uma análise rápida da tabela 18, permite verificar que a grande maioria dos objectos, apresentam uma correspondência directa. Tal não é de estranhar, pois muitos dos objectos considerados, correspondem a elementos, propriedades ou medidas bastante genéricas, e por isso, com maior probabilidade de figurar num modelo standard.

Variáveis de medida ou quantificação, tais como a pressão ou a velocidade, entre outras, são todas asseguradas pelo modelo IFC, excepto a rugosidade, o diâmetro e a altura de elevação, que embora sejam unidades de comprimento[10], não seriam reconhecidas pois o nome da unidade não consta do modelo IFC. Em 5.5.2.3 e 5.5.2.4, este tema será mais explorado.

Quanto aos dispositivos, a grande maioria já se encontra definida pelo modelo IFC, sendo as válvulas, a classe de dispositivos com maior número de *property sets* a definir.

Definir o tipo de rede, seja de água fria ou de água quente, é possível através da entidade *IfcDistributionPort*, a qual caracteriza as redes de distribuição, a nível do tipo de rede (seja de águas,

[10] Medição do comprimento é assegurada pelo recurso *IfcLength*.

electricidade ou gás, entre outros), da configuração e dos materiais utilizados. A associação a uma rede de água quente ou de água fria é assegurada pelos respectivos *property sets*.

Objectos do LicA que entrem na categoria de referencial ou posicionamento têm correspondência directa. As relações espaciais representam funções básicas de qualquer modelo de informação, e como tal, um modelo standard como o IFC não foge à regra.

5.5.2.3. Correspondências indirectas

As correspondências indirectas estão associadas aos casos em que é necessário modelar determinado objecto no LicA, cuja correspondência no modelo IFC, é dada por uma entidade que define um conjunto de objectos, ou seja, uma classe, mas não os especifica, pelo que, no caso de se desenvolver um adaptador de interoperabilidade, seria necessário adicionar um conjunto de propriedades à classe, de modo a suprir os elementos em falta para definir concretamente o objecto, e só depois proceder à associação entre elementos.

Assim, pela consulta da tabela 18, este tipo de situação verifica-se especialmente em relação à definição de válvulas, espaços, materiais e certas variáveis. Existem também alguns casos isolados, mas não representativos da respectiva classe.

A correcta definição das válvulas é vital para uma adequada modelação das redes de águas prediais. Como modelo standard, o modelo IFC procura definir diferentes válvulas genéricas para diferentes áreas (águas, detritos, gás e ar) em vez de se concentrar numa área específica. Veja-se o mapa conceptual em termos de instancias a percorrer para definição de válvulas:
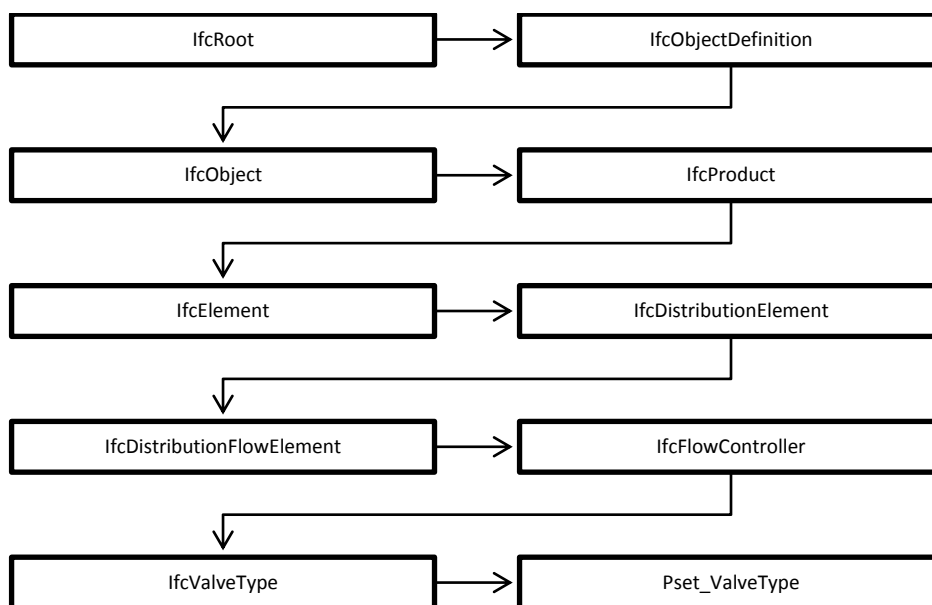
Fig. 31 - Mapa conceptual de instâncias a percorrer desde a raiz até à entidade para definição de *property sets* para válvulas (IAI 1996-2010)

A hierarquia de instâncias termina no *IfcValveType*. O modelo IFC contém algumas válvulas já definidas através dos respectivos *property sets*, sendo que, em relação ao tipo de válvulas que é preciso definir no âmbito do LicA, apenas a válvula redutora de pressão apresenta os respectivos *property sets*, pelo que representa uma correspondência directa. Para as restantes, é necessário definir *property sets*, segundo os princípios vistos em 5.4.4.

As unidades de medida referentes a correspondências do tipo indirecta, referem todas a casos onde a definição de unidades se possa incluir no *property set* que define o objecto do qual se pretende retirar a unidade. Exemplos desta situação, a definição da altura de elevação ou da rugosidade.

O modelo IFC não inclui *property sets* para os materiais, já que as características de cada um irão variar de acordo com as especificações do fabricante. O *IfcMaterialDefinition* foi pensado exactamente para ultrapassar este obstáculo, permitindo a definição de todas as funções relacionadas com materiais, desde a sua constituição, até às suas camadas, passando pelo modo de utilização.
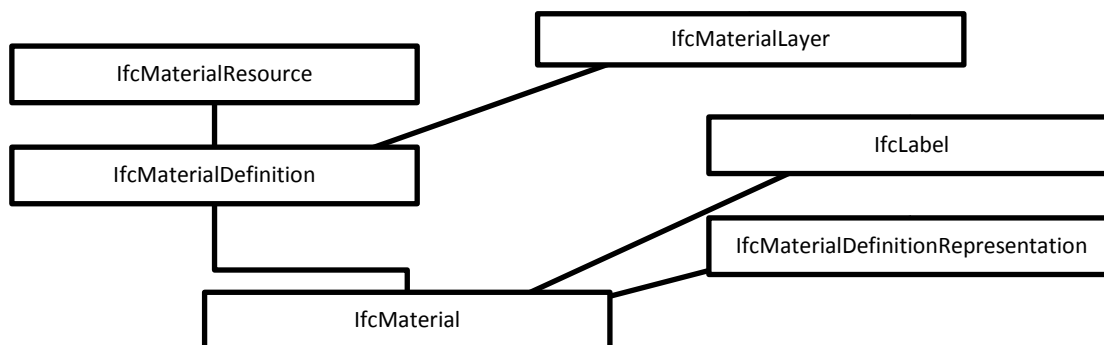
Fig. 32 - Mapa conceptual de instâncias a percorrer para definição de propriedades de materiais (IAI 1996-2010)

De acordo com as exigências do LicA, os atributos necessários para definir um material são, além do nome e da representação, definidos pelo *IfcLabel* e *IfcMaterialDefinitionRepresentation*, a rugosidade definida pelo *IfcMaterialLayer*. Uma vez definidos os materiais, o modelo IFC não cria *property sets* para os mesmos, antes, associa-os directamente aos elementos em questão.

A definição do tipo de espaço num edifício é bastante importante à luz do regulamento, já que importa condicionantes em certas verificações. O modelo IFC, permite fazê-lo através da definição dos respectivos *property sets*, que estabelecem os atributos característicos, tais como o nome, o posicionamento relativo no edifício ou entre outros, os requisitos a cumprir. Veja-se como fazê-lo em termos conceptuais:
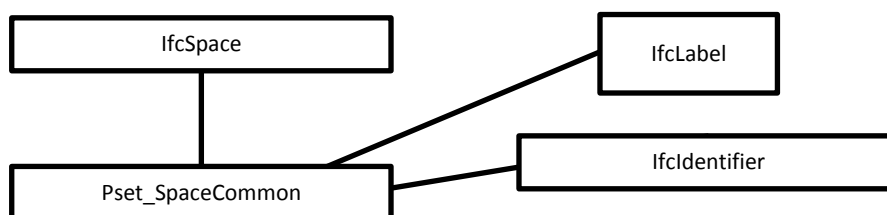
Fig. 33 - Mapa conceptual de instâncias a percorrer para definição de tipos de espaço (IAI 1996-2010)

Refira-se que, as questões de localização em relação ao referencial e a relação com outros espaços são devidamente asseguradas pelo modelo, fazendo parte das funcionalidades primárias de um modelo de informação da construção.

5.5.2.4. Correspondências indeterminadas

As correspondências indeterminadas representam objectos sem qualquer associação com entidades existentes do modelo IFC, pelo que, para os definir, terão de ser criadas novas entidades de raiz.

A criação de novas variáveis, tais como o coeficiente de simultaneidade, é possível através do *IfcUnit*. Esta é uma entidade muito genérica, que permite vários tipos de manipulações e associações em relação às unidades. Para este caso, o *IfcContextDependentUnit* define um tipo de unidade que não tem relação com o sistema internacional, ou seja, unidades adimensionais.
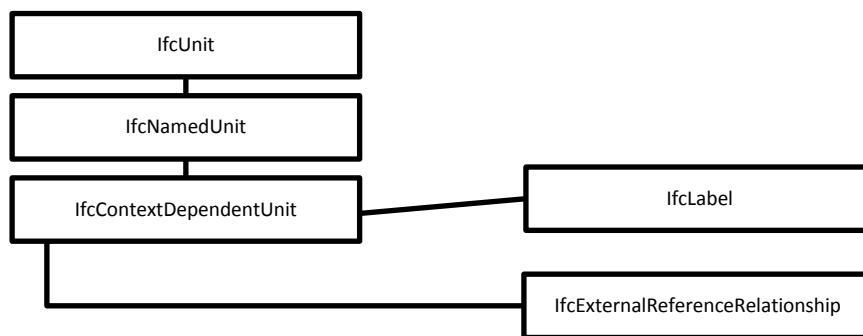
Fig. 34 - Mapa conceptual de instâncias a percorrer para definição de unidades adimensionais (IAI 1996-2010)

Por outro lado, para os casos onde existe um nova variável não reconhecida pelo modelo IFC, mas que utiliza uma unidade de medida do sistema internacional, utiliza-se o *IfcLabel* para atribuir um nome à variável e de seguida, o *IfcUnitEnum* permitirá incluir a variável numa listagem juntamente com as restantes unidades de medida não fundamentais. Conceptualmente, o processo é retratado da seguinte forma:
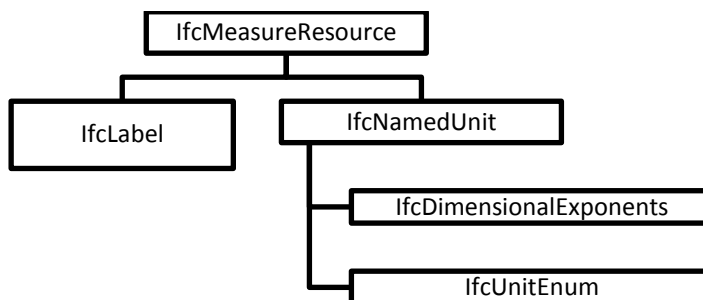
Fig. 35 - Mapa conceptual de instâncias a percorrer para definição de novas unidades do sistema SI (IAI 1996-2010)

A definição de uma nova língua (portuguesa) considera-se uma tarefa bastante complicada, pelo que, se restringiria esta função ao LicA. Visto os parâmetros da base de dados do LicA se encontrarem em inglês, restringe-se a interpretação da língua portuguesa à aplicação.

As restantes correspondências indeterminadas ganham esse estatuto pela sua relação com associações por sua vez já indirectas ou indeterminadas. Nas observações da tabela 18 do anexo B, é possível consultar as descrições caso a caso.

5.6. DEFINIÇÃO DOS MAPAS CONCEPTUAIS

O processo de desenvolvimento de um adaptador de interoperabilidade do modelo IFC, que permita ao LicA receber modelos neste formato, pode dividir-se essencialmente em duas fases:

1. **Estudo conceptual**: analisar as correspondências entre as respectivas estruturas de base de dados, procurando aferir quais os objectos do LicA que já integram a base de dados IFC e quais os que é preciso definir. Para este caso, perceber quais as ferramentas disponibilizadas pelo modelo IFC para criar os objectos em falta e proceder à organização conceptual das instâncias a percorrer para o efeito. De seguida, realizar o mapa conceptual de associação entre bases de dados, através da associação entre entidades e classes.
2. **Trabalho de programação**: de acordo com os mapas conceptuais estabelecidos na fase anterior, executar o trabalho de programação que traduza na linguagem EXPRESS do modelo IFC, o desenvolvimento dos objectos em falta, seguindo-se do desenvolvimento do adaptador de interoperabilidade que defina a correspondência entre objectos. Por outras palavras, algo que defina o que é que em linguagem T-SQL, corresponde em linguagem EXPRESS[11].

Além de algo morosa, a segunda fase foge um pouco das competências standard de um engenheiro civil, sendo uma tarefa para programadores, pelo que não será realizada no âmbito deste trabalho, que se centrará somente na primeira fase.

O desenvolvimento dos mapas conceptuais será condicionado pelo tipo de correspondência. Assim, para uma correspondência que, segundo a nomenclatura utilizada neste trabalho, se diz directa, o mapa conceptual será, dos três casos, o mais simples. Veja-se um exemplo:
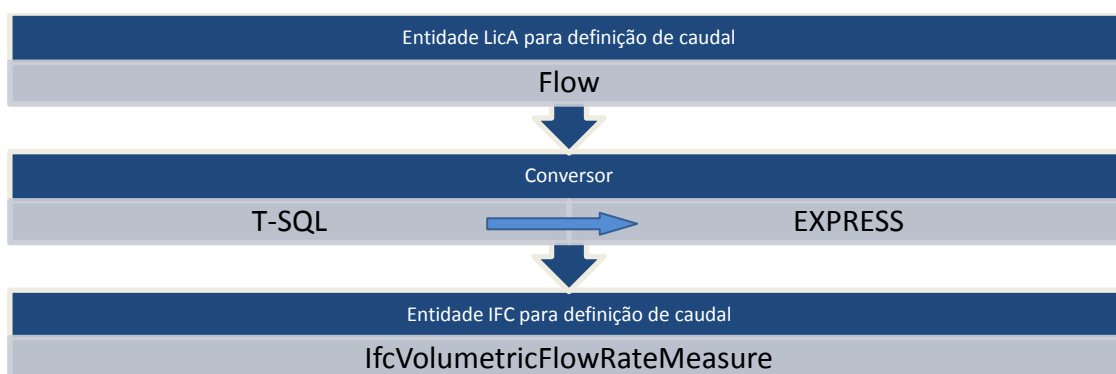
Fig. 36 - Exemplo do modelo proposto para a associação entre as bases de dados LicA e IFC, com vista à definição da entidade caudal, representativa das correspondências do tipo directa

À entidade do LicA, neste caso o caudal, corresponde directamente uma entidade no modelo IFC, pelo que o trabalho do conversor será apenas fazer a associação entre a linguagem T-SQL e a linguagem EXPRESS. Este modelo de mapa conceptual repete-se para todas as entidades que apresentem correspondência directa, sendo que, em anexo, encontram-se os mapas conceptuais disponíveis para consulta.

[11] A linguagem EXPRESS não é necessariamente a única, nem a melhor solução. Por representar já um dos formatos mais utilizados, o XML poderá ser uma melhor escolha, e à medida que o formato ifcXML ganha força, antevê-se mais uma solução disponível para representar dados segundo o modelo IFC.

A situação de correspondências do tipo indirecta diz respeito aos casos onde existe uma entidade que define a classe, mas não as propriedades do objecto. Para estes casos, o mapa conceptual será um pouco mais elaborado, já que será necessário algum trabalho no próprio modelo IFC. Veja-se um exemplo:
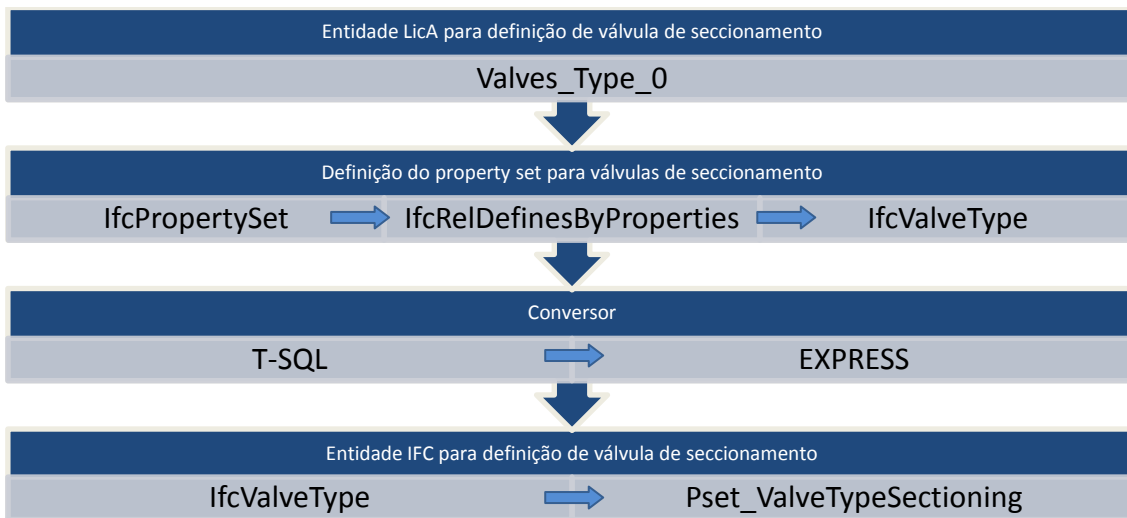
Fig. 37 - Exemplo do modelo proposto para a associação entre as bases de dados LicA e IFC, com vista à definição da entidade válvula de seccionamento, representativa das correspondências do tipo indirecta

Na segunda fase deste mapa, encontra-se definida a forma de associar um *property set* referente a um novo objecto, neste caso, uma nova válvula, à entidade que contém a classe para todas as válvulas.

A quarta fase aparece sob a forma de dois processos, devido ao facto de o modelo IFC não definir uma entidade para cada válvula, mas sim uma classe para todas as válvulas, que por sua vez, enumera uma lista de diferentes tipos, cada um com o seu conjunto de propriedades específico. Pretende-se deste modo clarificar o caminho a percorrer para associar os elementos.

Este modelo de mapa conceptual, repete-se para os restantes casos de correspondências indirectas, pelo que é possível consultá-los em anexo.

Em relação às correspondências do tipo indeterminadas, verifica-se que o estilo dos mapas conceptuais é bastante semelhante aos casos de correspondências indirectas. A diferença encontra-se na segunda fase que é um pouco mais elaborada. Veja-se um exemplo:
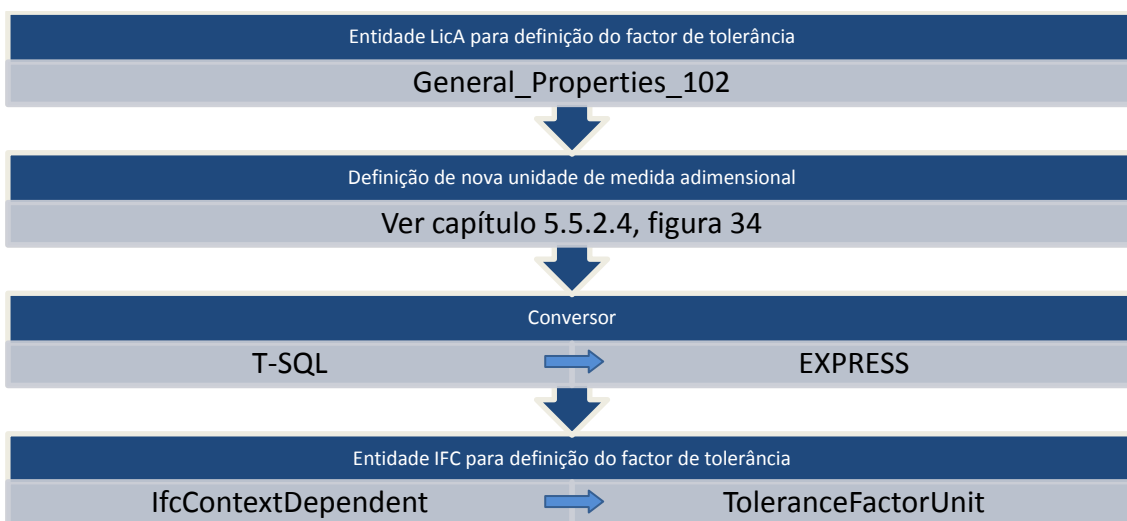
Fig. 38 - Exemplo do modelo proposto para a associação entre as bases de dados LicA e IFC, com vista à definição da entidade factor de tolerância, representativa das correspondências do tipo indeterminada

A segunda fase trata processos já descritos em capítulos anteriores, pelo que, adoptou-se uma consideração que refira o local onde os processos se encontram expostos.

Tal como nos casos anteriores, também para este tipo de correspondência é possível encontrar os restantes mapas conceptuais em anexo.

5.7. Quantificação dos resultados

A partir dos resultados da tabela 18, foi feito o levantamento das percentagens de ocorrência de cada uma das correspondências, organizado na seguinte tabela:

Tabela 5 - Quantificação dos resultados obtidos na tabela 18 do anexo B

Tipo de correspondência	Nº de casos identificados	Percentagens
Por elemento		
Directa	43	57%
Indirecta	25	33%
Indeterminada	8	11%
Totais	76	100%
Por classe		
Directa	43	75%
Indirecta	6	11%
Indeterminada	8	14%
Totais	57	100%

Primeiro, é preciso referir que estes resultados não equivalem totalmente às percentagens reais de correspondência entre modelos. À luz do que foi dito em 5.5.1, sem uma avaliação prática e concreta, a incerteza quanto ao funcionamento dos processos e quanto aos outputs do modelo IFC, não permite validar estes resultados por completo.

Dito isto, estes valores ajudam a dar uma ideia do trabalho em mãos, caso se pretendam concretizar estes princípios no desenvolvimento de um conversor IFC para o LicA.

Convém ter em mente que, mesmo no caso das correspondências directas, a diferença de linguagens de programação exige trabalho para realizar a tarefa de associar objectos. Nos restantes tipos de correspondência, a adicionar a este trabalho, vem ainda o desenvolvimento das funções no modelo, para só depois, proceder à associação.

Por outro lado, é também pertinente assinalar o facto de as percentagens de correspondências indirectas por elemento serem de algum modo elevadas, devido essencialmente ao facto de as três classes com maior número de propriedades a serem definidas (materiais, espaços e válvulas) possuírem todas muitos elementos, elevando assim a contagem. De salientar que esta situação não se trata tanto de uma limitação do modelo IFC, mas antes uma opção, já que as propriedades destas elementos são bastante específicas e variam consoante a localização da obra/projecto e também do fabricante para o caso das válvulas e materiais, deixando assim a definição destas propriedades ao critério do utilizador do modelo. Deste modo, fazendo a leitura das correspondências por classe, verifica-se que as percentagens de correspondências indirectas baixam consideravelmente.

6 CONCLUSÕES

6.1. RESULTADOS E CONCLUSÕES DO TRABALHO DESENVOLVIDO

Numa primeira fase do estudo levado a cabo neste trabalho, foram identificados alguns dos aspectos negativos do sector da construção que justificam uma mudança de paradigma, nomeadamente a nível do processo construtivo. O estudo permite concluir que a falta de sistematização e automatização dos processos é um dos maiores problemas actuais, dado que motiva a baixa produtividade e o desaproveitamento dos recursos.

A tendência mais severa e rigorosa da legislação mais recente, revela um esforço no sentido de alterar alguns destes aspectos negativos, no entanto, o desequilíbrio que se regista a nível de prazos e de responsabilidades, continuará a ser evidente enquanto não se verificarem alterações mais profundas, sobretudo a nível do projecto. Já que possui carácter obrigatório, a legislação será sempre uma das formas mais importantes de motivar o reforço das políticas de qualidade na construção, tanto a nível de concepção como de execução.

Não sendo exactamente novo, o conceito de modelo de informação parece só agora começar a ser verdadeiramente divulgado, provavelmente fruto da maior aposta recente das empresas de software em aplicações destes conceitos. Com um grande potencial de vantagens extensíveis a todo o processo construtivo, mas especialmente a nível do projecto, os BIM parecem ser a nova geração de ferramentas para conceber e gerir uma grande parte da informação relacionada com um edifício.

O estudo desenvolvido no que diz respeito aos conceitos teóricos por detrás dos modelos de informação, permitiu identificar dois tipos diferentes de modelos, respectivamente com abordagens de desenvolvimento distintas: modelos parciais e modelos completos.

Concluiu-se que os modelos parciais apresentam-se como soluções mais viáveis, tanto para os produtores de software como para os utilizadores, pelo facto de se focarem mais facilmente nos requisitos a cumprir. Os modelos completos por outro lado verificaram-se demasiado abrangentes para que possam representar uma opção viável sem constituírem um standard ou formato universal, como o modelo IFC pretende ser.

O licenciamento de projectos foi a área escolhida para centrar o estudo deste trabalho, sendo que se verificou que em muito tem a beneficiar com a automatização dos processos, nomeadamente através

da utilização dos BIM, o que ao mesmo tempo, seria uma forma de motivar as restantes áreas a adoptar modelos de informação de forma a viabilizar todo o processo. Este facto pressupõe que seja possível trocar dados entre os sistemas das várias entidades intervenientes no processo construtivo. Para tal, sugeriu-se como objecto de análise o modelo IFC, que à semelhança de outras iniciativas relativas ao licenciamento automático de projectos, constitui o formato de ligação entre modelo de concepção e modelo de verificação.

O estudo das dinâmicas de troca de dados entre a entidade projectista e a entidade licenciadora permitiu identificar duas formas de proceder, sempre com o modelo IFC como intermediário: importar o modelo de licenciamento para o projecto de concepção no inicio do projecto, modelando o edifício tendo automaticamente em conta as especificações regulamentares, ou exportar o modelo de concepção para um modelo de verificação de conformidade regulamentar no fim do projecto. Verificou-se que a primeira solução, apesar de teoricamente mais vantajosa, só poderá ser tomada quando a implementação da segunda for bem sucedida.

A análise de correspondências entre a base de dados do modelo IFC e a base de dados de uma aplicação de licenciamento automático revelou algumas limitações por parte do primeiro em adereçar todos os elementos presentes no regulamento. Contudo, também foi possível aferir que o modelo fornece as ferramentas necessárias ao suprimento dos recursos em falta. De facto, estes são os princípios segundo os quais o modelo IFC foi desenvolvido. Elementos de carácter muito específico devem ser desenvolvidos pelo utilizador, recorrendo aos princípios e aos recursos do modelo. Desta forma, garante-se que o modelo não é sobrecarregado e que os utilizadores podem suprir as suas necessidades.

Os resultados obtidos da análise de correspondência entre as bases de dados mostram que, menos de quinze por cento dos elementos da rede conforme as especificações do regulamento necessitam de ser criados, com os restantes a serem associados directamente, ou a necessitarem apenas da definição de propriedades.

Resumindo e abordando concretamente o tema, concluiu-se o seguinte:

a) A actual base de dados do modelo IFC mostra uma boa capacidade para abordar as várias especialidades da construção. Com muitas funções e elementos definidos, o modelo aparenta um suporte bastante alargado de representações. Verifica-se que a excepção diz respeito às variáveis adimensionais ou específicas, frequentes portanto em regulamentos. Apesar deste facto, o modelo IFC apresenta vários recursos para criação de novos elementos, pelo que as necessidades de representação podem ser supridas.
b) O modelo IFC constitui uma opção viável à automatização do processo de licenciamento de projectos. Na verdade, as iniciativas encontradas nesta área, bem como a ausência de outros formatos standard que englobem um âmbito tão alargado como o IFC, levam a crer que esta poderá ser de facto a forma mais viável de abordar este processo.
c) A base de dados do modelo IFC suporta a representação de uma boa parte dos elementos do DR 23/95 que constituem parâmetros de verificação de conformidade. Como tal, considera-se que, apesar de ser necessário algum trabalho a nível do modelo IFC e dos próprios regulamentos, este representa uma boa solução para intermediar os processos de trocas de dados entre entidade licenciadora e projectistas.
d) A existência de um modelo de verificação de conformidade regulamentar não é suficiente para finalizar a automatização do processo de licenciamento de projectos. A interoperabilidade entre sistemas, a adaptação dos regulamentos a formatos standard e o ajuste das práticas de

trabalho são factores muito importantes a ter em conta, e cuja alteração se processa a um ritmo indesejavelmente não muito acelerado.

e) O desenvolvimento de modelos parciais de pequena dimensão que abordem apenas partes do processo de licenciamento poderá ser uma forma de familiarizar a comunidade de utilizadores com esta tecnologia, enquanto não são reunidas todas as condições descritas no ponto anterior.
f) A propagação dos modelos de informação em geral nas práticas de trabalho não pode estar exclusivamente dependente da evolução do modelo IFC. É necessário um esforço conjunto, com ambas as partes a estimularem o crescimento uma da outra.
g) É necessário que os agentes da construção ganhem consciência do seu papel no processo de desenvolvimento dos modelos de informação. Estará a seu cargo a identificação dos requisitos a cumprir pelo modelo e pelo ambiente onde será inserido, das exigências que o modelo deve cumprir, e das necessidades que deve suprir. A pesquisa feita neste trabalho, bem como o esquema conceptual proposto para o conversor entre o modelo IFC e a aplicação de licenciamento, são exemplos de algum desse trabalho.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Numa perspectiva futura, o estudo realizado neste trabalho permite identificar as seguintes oportunidades de desenvolvimento:

a) Utilizando a análise de correspondências entre a base de dados do LicA e do modelo IFC, terminar o conversor entre os dois modelos através da realização do trabalho de programação tendo como base os mapas conceptuais aqui desenvolvidos, procedendo depois à análise concreta/prática da correspondência entre modelos.
b) Concretizar os aspectos do modelo IFC com vista ao licenciamento automático para outras especialidades da construção, nomeadamente para o projecto de arquitectura, estruturas e instalações.
c) Para um dado regulamento, desenvolver uma aplicação com base num modelo parcial com dupla função: função de concepção e função de verificação de conformidade regulamentar. Avaliar a exequibilidade da modelação de um edifício com função de verificação de conformidade regulamentar incorporada.

BIBLIOGRAFIA

Allen, S.; Hinks, A. - *Using action-research to compare the theory and practice of managing housing information.* London: 1996.

Ambler, Scott W. - *Data Modeling 101*. 2010. Disponível em http://www.agiledata.org/essays/dataModeling101.html

Arantes, Paula Cristina Fonseca Gonçalves - *Lean Construction – Filosofia e Metodologias*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

Ashcraft, Howard W.; Hanson, Bridgett, Marcus, Vlahos & Rudy, LLP - *Building Information Modeling; A Framework for Collaboration*. *American Bar Association; Forum on the Construction Industry*. (2007).

Autodesk - *BIM's Return on Investment*. 2007.

Autodesk - *The Five Fallacies of BIM*. 2007.

Bazjanac, Vladimir; Crawley, Drury - *Industry Foundation Classes and interoperable commercial software in support of design of energy-efficient buildings* 1999.

Behrman, William - *Best Practices for the Development and Use of XML Data Interchange Standards*. Stanford University, 2002.

Bjoerk, B-C. - *Industry Foundation Classes for project management - a trial implementation* 1999.

Bruçó, Nuno tiago Pereira - *TIC na Reabilitação em PMEs*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

Chen et al, Po-Han - *Implementation of IFC-based web server for collaborative building design between architects and structural engineers* 2004.

Doherty, Paul - *IFC and XML: What is the Difference?* 2003. Disponível em http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?siteID=123112&id=2694038&linkID=9243097

e-Business W@tch - *ICT and e-Business in the Construction Industry*. 2006.

Eastman, Charles M - *Building product models computer environments, supporting design and construction*. New York: CRC Press, 1999. 0-8493-0259-5

Eastman, Chuck - *BIM handbook a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. New Jersey: John Wiley and Sons Ltd, 2008. 978-0-470-18528-5

Ekholm, Anders - *ISO12006-2 and IFC – Prequisites for coordination of standards for classification and interoperability*. *Journal of Information Technology in Construction* (2005). Disponível em http://www.itcon.org/2005/19/

El-Desouki, Maha e Abdel Hady Hosny - *A Framework Model for Workflow Automation in Construction Industry*. Cairo, Egipto: 2005.

Fonseca, M Santos - *Curso sobre regras de medição na construção*. 2ª ed. Lisboa: LNEC, 1998. 972-49-1739-8

Fonseca, Pedro António da Mota Moreira da - *A produtividade das PME na construção*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

Freitas, Vasco Peixoto de - *Apontamentos de Patologia e Reabilitação de Edifícios*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

Gruber, Thomas R. - *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*. Vol. Knowledge Acquisition, 5(2):199-220, 1993. (1993).

Han et al, Charles S. - *Making Automated Building Code Checking A Reality*. Stanford University, 2003.

IAI, buildingSMART International Limited - *Industry Foundation Classes; IFC2x Edition 4 beta 3 version*. 1996-2010. Disponível em http://www.iai-tech.org/

IAI, International Alliance of Interoperability - *IFC Object Model Architecture Guide*. 1999. Disponível em http://www.iai-tech.org/

INE - *Empresas em Portugal 2005* 2007.

INESC - *ProNIC Sistema de Geração e Gestão de InformaçãoTécnica para Cadernos de Encargos* 2008.

Karola et al, Antti - *BSPro COM-Server - interoperability between software tools using industrial foundation classes* 2002.

Khemlani, Lachmi - *Solibri Model Checker* 2009.

Krippahl, Miguel - *O BIM e os arquitectos portugueses*. 2008.

Langford, D.; Retik, A. - *The Organization and Management of Construction: Shaping Theory and Practice*. London: 1996.

Lee, Y. Tina - *Information Modeling: From design to implementation* 1999.

Liebich, Dr. Thomas - *IFC / ifcXML; Concept of the IFC Standard and the relation to ISO & XML* 2002.

Lima, C. - *Final draft CWA4 proposal "European eConstruction Ontology". Work-shop on eConstruction N083, Nederlands Normalisatie-Instituut*. Vol. version 2004-03-26. (2004).

Maunula, Antti - *The Implementation of Building Information Modling (BIM); A Process Perspective*. Helsinki University of Technology SimLab, 2008.

McGraw-Hill, Construction - *The Impact of BIM on Business Development*. 2009.

Microsoft, Corporation - *Microsoft Digital Literacy*. 2010. Disponível em http://www.microsoft.com/about/corporatecitizenship/citizenship/giving/programs/up/digitalliteracy/por/default.mspx

Moreira da Costa, Jorge - *Apontamentos de Qualidade na Construção*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

Nascimento, Luiz Antonio do ; Santos, Eduardo Toledo - *A contribuição da tecnologia da informação ao processo de projecto na construção civil* 2001.

NES, Northern European Subset - *Information Model Architecture* 2007.

Poças Martins, João Pedro da Silva - *Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção, Aplicação ao Licenciamento Automático de Projectos*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

Sedam, Scott - *Lean Design: The $10K Solution. A TrueNorth Whitepaper* 2009.

Smith, Dana k.; Tardif, Michael - *Building information modeling a strategic implementation guide for architects*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2009. 978-0-470-25003-7

Solihin, Wawan - *Lessons learned from experience of code-checking implementation in Singapore, Success, Challenges, and Future Outlook*. (2004).

Sousa, Hipólito de - *Apontamentos de Gestão de Projectos*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

STEP Tools, Inc - *STEP ISO 10303*. 1991-2010. Disponível em http://www.steptools.com/library/standard/step_1.html

Teo Ai Lin, Evelyn - *Building Smart - A Strategy for Implementing BIM Solution in Singapure* 2006.

West, Matthew; Fowler, Julian - *Developing High Quality Data Models*. 2003.

Wilson, Peter R. - *STEP and EXPRESS*. 1998. Disponível em http://deslab.mit.edu/DesignLab/dicpm/step.html

Wix, Jeffrey - *User Defined Property Sets* 2010.

Anexos

ANEXO A. LICA: ESTRUTURA DA BASE DE DADOS

Seguem-se as tabelas de definição de conceitos do LicA, retiradas na íntegra da tese de doutoramento do Professor João Pedro Poças Martins (Poças Martins 2009).

Tabela 6 - Tabelas usadas pelo LicA e respectivas descrições

Tabela	*Descrição*
Allowed_Materials	
Calc_Report_Res	Resultados das verificações automáticas efectuadas
Calc_Report_Res_AppliesTo_Desc	Tipo de elemento da rede ao qual corresponde a mensagem de sistema
Calc_Report_Res_AppliesTo_ID	
Calc_Report_Res_Desc	Contém texto correspondente a cada tipo de mensagem
Calc_Report_Res_ID	
Devices	Contém identificação dos diversos acessórios da rede
Devices_Type	
Devices_Type_Desc	Designação de cada tipo de acessório
Devices_Type_ID	
Flow	Consumos em cada nó da rede e indicação da necessidade de os afectar dos coeficientes de redução regulamentares
Fractions_ID	
General_Properties	Contém uma variedade de constantes necessárias à verificação da conformidade da rede

Tabela	*Descrição*
General_Properties_Desc	Descrição dos parâmetros de texto indicados em General_Properties
Languages	Línguas utilizadas nos campos de texto do LicA
link_res	
Link_Type_Desc	Descrição do tipo de ligação (link) da rede
Links	Ligações da rede
Materials_Desc	Descrição do tipo de material da canalização
Materials_ID	
MonJus_Res	Indicação do nó de montante e de jusante da ligação
Node_Res	Resultados, ao nível dos nós da rede, do cálculo hidráulico efectuado
Nodes	Nós da rede e suas coordenadas cartesianas
Pipe_Roughness	Rugosidade de condutas de diferentes materiais - Darcy-Weisbach. É possível definir uma gama de rugosidades indicando um valor máximo e um valor mínimo para este parâmetro
Pipe_Roughness_Desc	Descrição dos materiais constituintes das tubagens da rede
Pipes	Tubagens da rede
Pumps	Bombas da rede e suas alturas de elevação
Spaces	Identifica cada espaço individual e indica o seu tipo
Spaces_Type_Desc	Descrição dos espaços definidos no projecto de arquitectura
Spaces_Type_ID	Identificação dos tipos de espaço admissíveis
SubNetworks	Divide rede em subredes que podem ser de diferentes tipos (ex: água quente/fria)
SubNetworks_Type_Desc	Descrição das redes existentes
SubNetworks_Type_ID	Identificação dos tipos de rede admissíveis
Tanks	Reservatórios prediais
URC	Utilizar coeficiente de redução?
URC_ID	
Valves	Válvulas da rede

Tabela	*Descrição*
Valves_Type_Desc	Tipo de válvulas de rede
Valves_Type_ID	Identificação dos tipos de válvula admissíveis
Warning_Level	Associa avisos a mensagens geradas pelo programa
Warning_Level_Desc	Níveis dos avisos gerados pelo programa
Warning_Level_ID	Identificação dos tipos de aviso admissíveis

Tabela 7 - Campos da base de dados por tabela, seus tipos de dados e respectivas descrições

Tabela	*Campo*	*Datatype*	*Descrição*
Allowed_Materials	ID	Int	
Allowed_Materials	IsInside	Bit	
Calc_Report_Res	ID	Int	Identificação do elemento ao qual se refere a mensagem gerada - combina com dados de Calc_Report_Res_Desc. Ex: 55 (falta de pressão no nó 55)
Calc_Report_Res	MSG_ID	Int	Ligação a tabela Calc_Report_Res_ID
Calc_Report_Res	MSG_TXT	NVarChar (500)	Campo actualmente não utilizado
Calc_Report_Res_AppliesTo_Desc	ID	Int	
Calc_Report_Res_AppliesTo_Desc	Lang_ID	Int	
Calc_Report_Res_AppliesTo_Desc	Description	NChar (100)	
Calc_Report_Res_AppliesTo_ID	ID	Int	
Calc_Report_Res_Desc	MSG_ID	Int	Ligação a tabela Calc_Report_Res_ID
Calc_Report_Res_Desc	MSG_TXT	NVarChar Max	Texto a incluir no relatório a produzir
Calc_Report_Res_Desc	LANG_ID	Int	Identificação da língua em que está escrita a mensagem

Tabela	*Campo*	*Datatype*	*Descrição*
Calc_Report_Res_ID	ID	Int	Identificação
Calc_Report_Res_ID	ArtID	NChar (20)	
Calc_Report_Res_ID	AppliesTo	Int	
Devices	ID	Int	Identificação
Devices	Device_Type_ ID	Int	Ligação a tabela Devices_Type_ID
Devices	Space_ID	Int	Ligação a tabela Spaces
Devices_Type	ID	Int	
Devices_Type	Min_Reg_Flo w	Decimal (19,9)	
Devices_Type	URC	Bit	
Devices_Type_Desc	ID	Int	Ligação a tabela Devices_Type_ID
Devices_Type_Desc	Description	NVarChar Max	Descrição do acessório de rede
Devices_Type_Desc	LANG_ID	Int	Ligação a tabela Languages
Devices_Type_ID	ID	Int	Identificação
Flow	ID	Int	
Flow	Node_ID	Int	Ligação a tabela Nodes
Flow	Flow	Decimal (19,9)	Caudal [m3/s]
Flow	Use_Reductio n_Coef	Bit	Ligação a tabela URC_ID
Flow	Device_ID	Int	Ligação a tabela Devices
Flow	Hmin	Decimal (19,9)	Pressão mínima necessária para o funcionamento do equipamento [m]
Fractions_ID	ID	Int	
General_Properties	ID	Int	Identificação
General_Properties	VAL	Decimal (19,9)	Constante a utilizar para o parâmetro
General_Properties_Desc	ID	Int	Ligação a tabela General_Properties

Tabela	*Campo*	*Datatype*	*Descrição*
General_Properties_Desc	Description	Char (500)	Descrição do parâmetro (texto)
General_Properties_Desc	LANG_ID	Int	Ligação a tabela Languages
Languages	LANG_ID	Int	Identificação
Languages	Language	NVarChar (50)	Nome da língua (texto)
link_res	ID	Int	Identificação
link_res	Qc	Decimal (19,9)	Caudal de cálculo [m^3/s]
link_res	Q0	Decimal (19,9)	Caudal de cálculo não sujeito a aplicação de coeficiente de simultaneidade [m^3/s]
link_res	Q1	Decimal (19,9)	Caudal de cálculo sujeito a aplicação de coeficiente de simultaneidade [m^3/s]
link_res	V	Decimal (19,9)	Velocidade correspondente ao caudal de cálculo Q_c [m/s]
link_res	L	Decimal (19,9)	Comprimento da canalização [m]
Link_Type_Desc	ID	Int	Identificação do tipo de ligação
Link_Type_Desc	Link_Type	NVarChar (50)	Descrição do tipo de ligação
Link_Type_Desc	LANG_ID	Int	Ligação a tabela Languages
Links	ID	Int	Identificação
Links	P1	Int	Ligação a tabela Nodes
Links	P2	Int	Ligação a tabela Nodes
Materials_Desc	ID	Int	
Materials_Desc	Description	NChar (100)	
Materials_Desc	LANG_ID	Int	
Materials_ID	ID	Int	

Tabela	*Campo*	*Datatype*	*Descrição*
Materials_ID	Roughness_ID	Int	
MonJus_Res	Lid	Int	Ligação a tabela Links
MonJus_Res	ID	Int	Ligação a tabela Nodes
MonJus_Res	ID_Prev	Int	Ligação a tabela Nodes
Node_Res	ID	Int	Identificação
Node_Res	Hmin	Decimal (19,9)	Pressão mínima no nó [m]
Node_Res	Hmax	Decimal (19,9)	Pressão máxima no nó [m]
Node_Res	Q0	Decimal (19,9)	Caudal acumulado de fluxómetros a jusante do nó [m^3/s]
Node_Res	C0	Int	Número de fluxómetros a jusante
Node_Res	Q1	Decimal (19,9)	Caudal acumulado de dispositivos de utilização, excepto fluxómetros, a jusante [m^3/s] (em rigor, é contado o caudal acumulado correspondente aos nós com consumos não nulos a jusante do nó)
Node_Res	C1	Int	Número de dispositivos de utilização, excepto fluxómetros, a jusante (em rigor, é contado o número de nós com consumos não nulos a jusante do nó)
Nodes	ID	Int	Identificação
Nodes	X	Decimal (19,9)	Coordenada cartesiana X
Nodes	Y	Decimal (19,9)	Coordenada cartesiana Y
Nodes	Z	Decimal (19,9)	Coordenada cartesiana Z
Pipe_Roughness	ID	Int	Identificação

Tabela	*Campo*	*Datatype*	*Descrição*
Pipe_Roughness	e_min	Decimal (19,9)	rugosidade mínima [m]
Pipe_Roughness	e_max	Decimal (19,9)	rugosidade máxima [m]
Pipe_Roughness_Desc	ID	Int	Ligação a tabela Pipe_Roughness
Pipe_Roughness_Desc	Description	NVarChar Max	Nome do material
Pipe_Roughness_Desc	LANG_ID	Int	Ligação a tabela Languages
Pipes	ID	Int	Ligação a tabela Links
Pipes	Material_ID	Int	Ligação a tabela Pipe_Roughness
Pipes	Diameter	Decimal (19,9)	Diâmetro da tubagem [m]
Pipes	IsThermIns	Bit	
Pipes	IsInside	Bit	
Pumps	ID	Int	Ligação a tabela Links
Pumps	H	Decimal (19,9)	Altura de elevação [m]
Spaces	ID	Int	Identificação
Spaces	Space_Type_ID	Int	Ligação a tabela Spaces_Type_ID
Spaces	Fraction_ID	Int	
Spaces_Type_Desc	ID	Int	Ligação a tabela Spaces_Type_ID
Spaces_Type_Desc	Description	NVarChar Max	Descrição do espaço
Spaces_Type_Desc	LANG_ID	Int	Ligação a tabela Languages
Spaces_Type_ID	ID	Int	Identificação
SubNetworks	Link_ID	Int	Ligação a tabela SubNetworks
SubNetworks	Network_ID	Int	Identificação da subrede
SubNetworks	Network_Type_ID	Int	Ligação a tabela SubNetworks_Type_ID

Tabela	*Campo*	*Datatype*	*Descrição*
SubNetworks_Type_Desc	Network_Type _ID	Int	Ligação a tabela SubNetworks_Type_ID
SubNetworks_Type_Desc	Description	NVarChar Max	Descrição do tipo de rede
SubNetworks_Type_Desc	LANG_ID	Int	Ligação a tabela Languages
SubNetworks_Type_ID	ID	Int	Identificação
Tanks	ID	Int	Ligação a tabela Nodes
Tanks	Min_Level	Decimal (19,9)	Cota mínima do reservatório [m]
Tanks	Max_Level	Decimal (19,9)	Cota máxima do reservatório [m]
URC	Use_Reductio n_Coef	Bit	Ligação a tabela URC_ID
URC	Description	Char (10)	Descrição do campo anterior (Sim/Não + texto complementar, se necessário)
URC	LANG_ID	Int	Identificação da língua utilizada para o campo anterior
URC_ID	ID	Bit	Identificação
Valves	ID	Int	Ligação a tabela Links
Valves	Type	Int	Ligação a tabela Valves_Type_ID
Valves	Setting	Decimal (19,9)	Parâmetro de funcionamento da válvula
Valves_Type_Desc	Valve_Type_I D	Int	Ligação a tabela Valves_Type_ID
Valves_Type_Desc	Description	NVarChar Max	Descrição do tipo de válvula
Valves_Type_Desc	LANG_ID	Int	Ligação a tabela Languages
Valves_Type_ID	ID	Int	Identificação
Warning_Level	MSG_ID	Int	Identificação

Tabela	*Campo*	*Datatype*	*Descrição*
Warning_Level	WARNING_LEVEL	Int	Nível do aviso - liga à tabela Warning_Level_Desc e pode ser usado para, por exeplo, estabelecer um código de côres para as mensagens
Warning_Level_Desc	ID	Int	Ligação a tabela Warning_Level_ID
Warning_Level_Desc	Description	NVarChar (100)	Descrição do nível do aviso
Warning_Level_Desc	LANG_ID	Int	Ligação a tabela Languages
Warning_Level_ID	ID	Int	Identificação

Nota: o campo *Datatype* refere-se ao formato de dados usado para o valor de cada um dos campos da tabela SQL (Groff 2002).

Tabela 8 - Tabela SubNetworks_Type_Desc

ID	*Descrição*
0	Água Fria
1	Água Quente

Tabela 9 - Dispositivos de utilização e acessórios de rede: Tabela Devices_Type_Desc

ID	*Descrição*
0	Generico
1	Lavatório individual
2	Lavatório colectivo (por bica)
3	Bidé
4	Banheira
5	Chuveiro individual
6	Pia de despejo com torneira de D15 mm
7	Autoclismo de bacia de retrete
8	Mictório com torneira individual
9	Pia lava-louça
10	Bebedouro
11	Máquina de lavar louça
12	Máquina ou tanque de lavar roupa
13	Bacia de retrete com fluxómetro
14	Mictório com fluxómetro
15	Boca de rega ou de lavagem de D15mm
16	Boca de rega ou de lavagem de D20mm
17	Máquinas industriais e outros aparelhos não especificados
100	Contador
101	Equipamento de produção-acumulação de água quente
102	Purgador de água

Tabela 10 - Tipos de ligação de rede: Tabela Link_Type_Desc

ID	*Descrição*
0	Tubagem
1	Válvula
2	Bomba

Tabela 11 - Materiais para canalizações: Tabela Materials_Desc

ID	*Descrição*
0	Genérico
1	Cobre
2	Aço inoxidável
3	Aço galvanizado
4	PVC rígido
5	Ferro fundido
6	Fibrocimento
7	Polietileno

Tabela 12 - Tipos de válvulas: Tabela Valves_Type_Desc

ID	*Descrição*
0	Válvula de seccionamento
1	Válvula de retenção
2	Válvula de segurança
3	Válvula redutora de pressão
4	Válvula de regulação

Tabela 13 - Tipos de espaços: Tabela Spaces_Type_Desc

ID	*Descrição*
0	Espaço Genérico
1	Sala de Estar
2	Sala de Jantar
3	Quarto

ID	*Descrição*
4	Quarto de Banho
5	Cozinha
6	Circulações
7	Garagem
100	Exterior

Tabela 14 - Propriedades gerais: Tabela General_Properties

ID	*Descrição*
0	Pressão mínima na rede pública [kPa]
1	Pressão máxima na rede pública [kPa]
2	Velocidade mínima na rede [m/s], de acordo com Art. 94º.1.b
3	Velocidade máxima na rede [m/s], de acordo com Art. 94º.1.b
4	Pressão de serviço mínima [kPa] de acordo com Art. 87º.2
5	Pressão de serviço máxima [kPa] de acordo com Art. 87º.2
6	Pressão de serviço mínima recomendada [kPa] de acordo com Art. 87º.2
7	Pressão de serviço máxima recomendada [kPa] de acordo com Art. 87º.2
50	Distância mínima entre condutas de água quente e fria [m]
100	Ângulo de conduta com vertical - tolerância
101	Ângulo de conduta com horizontal - valor orientativo
102	Factor de tolerância para o paralelismo de vectores u e v - sqrt(uXv.uXv)
103	Distância máxima entre condutas para que estas sejam consideradas no âmbito do Artº 95.3 [m]
104	Comprimento mínimo para análise do Artº 95 [m]

Tabela 15 - Utilização de coeficiente de simultaneidade: Tabela URC

ID	*Descrição*
Falso	Não usar coeficiente de simultaneidade
Verdadeiro	Usar coeficiente de simultaneidade

Tabela 16 - Tipos de mensagens de sistema: Tabela Calc_Report_Res_Desc

ID	*Descrição*
100	Pressão mínima requerida por dispositivos a jusante do nó acima de valor permitido pela válvula
100	Pressão mínima requerida por dispositivos a jusante do nó acima de valor permitido pela válvula
150	Velocidade não regulamentar (Art. 94º.1.b)
151	Pressão insuficiente disponível no fluxómetro da bacia de retrete, tendo em atenção a dimensão do respectivo ramal de ligação (Art. 94º.2)
152	Pressão de serviço insuficiente no dispositivo (Art. 87º.2)
153	Pressão de serviço excessiva no dispositivo (Art. 87º.2)
154	Pressão de serviço inferior à recomendada no dispositivo (Art. 87º.2)
155	Pressão de serviço superior à recomendada no dispositivo (Art. 87º.2)
156	Dispositivo sem válvula de seccionamento a montante (Art. 102º.a)
157	Aparelho produtor-acumulador de água quente sem válvula de retenção a montante (Art. 102º.b)
158	Aparelho produtor-acumulador de água quente sem válvula de segurança a montante (Art. 102º.c)
159	Contador sem válvula de seccionamento a jusante (Art. 102º.a)
200	Há paralelismo entre canalizações de água quente e fria (aparentemente) ou dimensão da canalização insuficiente para efectuar a verificação (Artº 95.3)
201	Não há paralelismo entre canalizações de água quente e fria (aparentemente) (Art. 95º.3)
202	Canalizações de águas quentes e frias a uma distância inferior à permitida (Art. 95º.4)
203	Canalização de água quente situada abaixo de canalização de água fria próxima (Art. 95º.3)
204	Traçado de canalização não é horizontal ou vertical (Art. 95º.1)
205	Cozinha ou quarto de banho sem válvula de seccionamento a montante (Art. 102º.a)

Tabela 17 - Avisos: Tabela Warning_Level_ID

ID	*Descrição*
0	Aprovado
1	Aprovado com reservas

ID	*Descrição*
2	Apreciação positiva: Verificação manual recomendada
3	Apreciação negativa: Verificação manual recomendada
4	Reprovado com reservas
5	Reprovado

ANEXO B. CORRESPONDÊNCIAS ENTRE AS BASES DE DADOS LICA - IFC

Apresenta-se de seguida a tabela com a análise detalhada do estudo comparativo entre as bases de dados da aplicação LicA e do modelo IFC, no que diz respeito à representação dos vários elementos.

Tabela 18 - Análise do tipo de correspondência entre as entidades LicA e IFC

Descrição do objecto LicA	Entidade IFC	Tipo de correspondência	Observações
		Allowed Materials	
-	-	**-**	-
		Calc Report	
Pressão	*IfcPressureMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Velocidade	*IfcLinearVelocityMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Aparelho produtor-acumulador de água quente	*IfcBoiler*	**Directa**	Classe contém um *property set* genérico para esquentadores
Contador	*IfcFlowMeter*	**Directa**	Classe contém um *property set* genérico para contadores
Paralelismo entre canalizações	*IfcPipeSegment; IfcRelationship*	**Directa**	Relações e associação de objectos; incluído nas definições primárias de um modelo completo como o IFC
Posicionamento da canalização de água quente em relação à canalização de água fria	*IfcPipeSegment; IfcRelationship* *IfcDistributionPort*	**Directa**	Relações e associação de objectos; incluído nas definições primárias de um modelo completo como o IFC
Traçado horizontal ou vertical	*IfcDirection*	**Directa**	Disposição de objectos em relação a um referencial; incluído nas definições primárias de um modelo completo como o IFC
Valves	-	**-**	Ver respectiva tabela
		Devices	
Genérico	-	**-**	-
Lavatório individual	*IfcSanitaryTerminalType WASHWANDBASIN*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido

Descrição do objecto LicA	Entidade IFC	Tipo de correspondência	Observações
Lavatório colectivo (por bica)	*IfcSanitaryTerminalType WASHWANDBASIN*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Bidé	*IfcSanitaryTerminalType BIDET*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Banheira	*IfcSanitaryTerminalType BATH*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Chuveiro individual	*IfcSanitaryTerminalType SHOWER*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Pia de despejo com torneira de D15 mm	*IfcSanitaryTerminalType SINK*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Autoclismo de bacia de retrete	*IfcSanitaryTerminalType TOILET PAN*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Mictório com torneira individual	*IfcSanitaryTerminalType URINAL*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Pia lava-louça	*IfcSanitaryTerminalType SINK*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Bebedouro	*IfcSanitaryTerminalType SANITARY FOUNTAIN*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Máquina de lavar louça	*IfcElectricAppliance*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Máquina ou tanque de lavar roupa	*IfcElectricAppliance*	**Indirecta**	Necessário definir property set
Bacia de retrete com fluxómetro	*IfcSanitaryTerminalType TOILET PAN*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Mictório com fluxómetro	*IfcSanitaryTerminalType URINAL*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Boca de rega ou de lavagem de D15 mm	*IfcFireSuppressionTerminalType SPRINKLER*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Boca de rega ou de lavagem de D20 mm	*IfcFireSuppressionTerminalType SPRINKLER*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Máquinas industriais e outros aparelhos não especificados	-	**Indeterminada**	Gama de objectos bastante genérica; necessário primeiro identificar a gama de aparelhos para depois estabelecer os parâmetros em relação ao modelo IFC
Contador	*IfcFlowMeter*	**Directa**	Classe contém um *property set* genérico para contadores
Aparelho produtor-acumulador de água quente	*IfcBoiler*	**Directa**	Classe contém um *property set* genérico para esquentadores
Purgador de água (terminal de descarga)	*IfcWasteTerminal*	**Directa**	Modelo IFC contém respectivo *property set* definido
Caudal mínimo regulamentar	*IfcNamedUnit*	**Indeterminada**	Necessário criar a variável e associá-la aos dispositivos
Devices	-	**-**	Ver respectiva tabela
Spaces	-	**-**	Ver respectiva tabela
Fluxos	-	**-**	Ver respectiva tabela
URC	-	**-**	Ver respectiva tabela
		Flow	
Caudal	*IfcVolumetricFlowRateMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Pressão	*IfcPressureMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade

Descrição do objecto LicA	Entidade IFC	Tipo de correspondência	Observações
Nodes	-	**-**	Ver respectiva tabela
URC	-	**-**	Ver respectiva tabela
Devices	-	**-**	Ver respectiva tabela
		Fractions	
-	-	**-**	-
General Properties			
Pressão	*IfcPressureMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Velocidade	*IfcLinearVelocityMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Comprimento	*IfcLengthMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Ângulo	*IfcCompoundPlaneAngleMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Factor de tolerância	*IfcContextDepdentUnit*	**Indeterminada**	Medição de quantidade não reconhecida; necessário criar variável
		Languages	
Inglês	*Disponível*	**Directa**	A linguagem de programação utilizada no modelo (EXPRESS) utiliza o inglês
Português	*Não disponível*	**Indeterminada**	Língua não reconhecida
		Link	
Caudal	*IfcVolumetricFlowRateMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Velocidade	*IfcLinearVelocityMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Comprimento	*IfcLengthMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Tubagem	*IfcPipeSegment*	**Directa**	Classe contém um *property set* genérico para tubagens
Válvula	*IfcValve*	**Directa**	Classe contém um *property set* genérico para válvulas
Bomba	*IfcPump*	**Directa**	Classe contém *property set* que define este objecto
Nodes	-	**-**	Ver respectiva tabela
		Materials	
Genérico	*IfcMaterialDefinition*	**Indirecta**	Modelo IFC não contém uma listagem de materiais mas sim uma entidade para a sua introdução e registo no modelo específico a utilizar
Cobre	*IfcMaterialDefinition*	**Indirecta**	Modelo IFC não contém uma listagem de materiais mas sim uma entidade para a sua introdução e registo no modelo específico a utilizar
Aço inoxidável	*IfcMaterialDefinition*	**Indirecta**	Modelo IFC não contém uma listagem de materiais mas sim uma entidade para a sua introdução e registo no modelo específico a utilizar
Aço galvanizado	*IfcMaterialDefinition*	**Indirecta**	Modelo IFC não contém uma listagem de materiais mas sim uma entidade para a sua introdução e registo no modelo específico a utilizar
PVC rígido	*IfcMaterialDefinition*	**Indirecta**	Modelo IFC não contém uma listagem de materiais mas sim uma entidade para a sua introdução e registo no modelo específico a utilizar

Descrição do objecto LicA	Entidade IFC	Tipo de correspondência	Observações
Ferro fundido	*IfcMaterialDefinition*	**Indirecta**	Modelo IFC não contém uma listagem de materiais mas sim uma entidade para a sua introdução e registo no modelo específico a utilizar
Fibrocimento	*IfcMaterialDefinition*	**Indirecta**	Modelo IFC não contém uma listagem de materiais mas sim uma entidade para a sua introdução e registo no modelo específico a utilizar
Polietileno	*IfcMaterialDefinition*	**Indirecta**	Modelo IFC não contém uma listagem de materiais mas sim uma entidade para a sua introdução e registo no modelo específico a utilizar
Rugosidade do material	*IfcMaterialDefinition*	**Indirecta**	A medição automática desta unidade faz parte das funções atribuídas aquando da definição do material
		MonJus	
Links	-	**-**	Ver respectiva tabela
Nodes	-	**-**	Ver respectiva tabela
		Node	
Pressão	*IfcPressureMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Caudal	*IfcVolumetricFlowRateMeasure*	**Directa**	Medição de quantidade
Fluxómetros	*IfcFlowMeter*	**Directa**	IFC define esta classe e fornece *property sets* para vários tipos de fluxómetros
Nº de fluxómetros	*IfcContextDependentUnit*	**Indeterminada**	Necessário criar variável que contabilize o número de fluxómetros a jusante
Dispositivos excepto fluxómetros	-	**Indeterminada**	Gama de objectos bastante genérica; necessário primeiro identificar a gama de dispositivos para depois estabelecer os parâmetros em relação ao modelo IFC
		Nodes	
Referencial	*IfcRepresentationResource*	**Directa**	Disposição de objectos em relação a um referencial; incluído nas definições primárias de um modelo completo como o IFC
	IfcGeometryResource	**Directa**	
Node	*IfcObject*	**Indeterminada**	Necessário criar o conceito de nó; associar aos elementos que possam representar um nó: dispositivos, acessórios, reservatórios ou simples ligações entre condutas; criar um *property set* genérico que defina as propriedades hidráulicas características: pressão mínima e máxima, caudais acumulados
		Pipe Roughness	
Rugosidade mínima	*IfcPipeSegment*	**Indirecta**	Adicionar parâmetro na definição do respectivo *property set - Pset_PipeSegmentTypeCommon*
Rugosidade máxima	*IfcPipeSegment*	**Indirecta**	Adicionar parâmetro na definição do respectivo *property set - Pset_PipeSegmentTypeCommon*
		Pipes	
Diâmetro da tubagem	*IfcPipeSegment*	**Directa**	Parâmetro definido pelo respectivo *property set - Pset_PipeSegmentTypeCommon*
Localização (dentro ou fora do edifício)	*IfcLocalPlacement*	**Directa**	A entidade verifica o posicionamento relativo do local pretendido

Descrição do objecto LicA	Entidade IFC	Tipo de correspondência	Observações
Isolamento térmico	*IfcPipeSegment*	**Directa**	Parâmetro definido pelo respectivo *property set* - *Pset_PipeSegmentTypeCommon*
Links	-	**-**	Ver respectiva tabela
Materials	-	**-**	Ver respectiva tabela
		Pumps	
Altura de elevação	*IfcPump*	**Indirecta**	Adicionar parâmetro na definição/edição dos *property set*s - *Pset_PumpTypeCommon*
Links	-	**-**	Ver respectiva tabela
		Spaces	
Espaço genérico	*IfcSpace*	**Directa**	Entidade define as propriedades de um espaço; IFC contém um *property set* genérico para espaços
Sala de Estar	*IfcSpace*	**Indirecta**	Entidade define as propriedades de um espaço; necessária a definição de *property set*
Sala de Jantar	*IfcSpace*	**Indirecta**	Entidade define as propriedades de um espaço; necessária a definição de *property set*
Quarto	*IfcSpace*	**Indirecta**	Entidade define as propriedades de um espaço; necessária a definição de *property set*
Quarto de Banho	*IfcSpace*	**Indirecta**	Entidade define as propriedades de um espaço; necessária a definição de *property set*
Cozinha	*IfcSpace*	**Indirecta**	Entidade define as propriedades de um espaço; necessária a definição de *property set*
Circulações	*IfcSpace*	**Indirecta**	Entidade define as propriedades de um espaço; necessária a definição de *property set*
Garagem	*IfcSpace*	**Indirecta**	Entidade define as propriedades de um espaço; necessária a definição de *property set*
Exterior	*IfcSpace*	**Indirecta**	Entidade define as propriedades de um espaço; necessária a definição de *property set*
		Sub-networks	
Água Fria	*IfcDistributionPort*	**Directa**	*Property set* definido - *Pset_DistributionPortTypeDomesticColdWater*
Água Quente	*IfcDistributionPort*	**Directa**	*Property set* definido - *Pset_DistributionPortTypeDomesticHotWater*
		Tanks	
Reservatório	*IfcTank*	**Directa**	*Property set* definido - *Pset_TankTypeCommon*
Cota mínima do reservatório	*IfcRepresentationResource; IfcRelationship*	**Directa**	Disposição de objectos em relação a um referencial; incluído nas definições primárias de um modelo completo como o IFC
Cota máxima do reservatório	*IfcRepresentationResource; IfcRelationship*	**Directa**	Disposição de objectos em relação a um referencial; incluído nas definições primárias de um modelo completo como o IFC
Nodes	-	-	Ver respectiva tabela
		URC	
URC	*IfcContextDependentUnit*	**Indeterminada**	Medição de quantidade não reconhecida; necessário criar variável

Descrição do objecto LicA	Entidade IFC	Tipo de correspondência	Observações
		Valves	
Válvula de seccionamento	*IfcValveType*	**Indirecta**	*Property set* não definido. A sua definição é possível através do *IfcPropertySet* e indexada através do atributo *HasPropertySet*.
Válvula de retenção	*IfcValveType*	**Indirecta**	*Property set* não definido. A sua definição é possível através do *IfcPropertySet* e indexada através do atributo *HasPropertySet*.
Válvula de segurança	*IfcValveType*	**Indirecta**	*Property set* não definido. A sua definição é possível através do *IfcPropertySet* e indexada através do atributo *HasPropertySet*.
Válvula redutora de pressão	*IfcValveType*	**Directa**	*Property set* definido - *Pset_ValveTypePressureReducing*
Válvula de regulação	*IfcValveType*	**Indirecta**	*Property set* não definido. A sua definição é possível através do *IfcPropertySet* e indexada através do atributo *HasPropertySet*.
Parâmetro de funcionamento da válvula	*IfcValveType*	**Indirecta**	Parâmetro a atribuir na definição dos *property set*s
		Warning Level	
-	-	-	-

ANEXO C: MAPAS CONCEPTUAIS

Para evitar sobrecarregar o trabalho, organizaram-se os dados da seguinte forma: foi criado um modelo genérico de mapa conceptual para os três diferentes tipos de correspondência, e por baixo de cada um deles, organizaram-se numa tabela os dados específicos de cada objecto a definir, sendo que o mapa conceptual para cada um dos casos em particular obtém-se pela associação dos parâmetros da tabela aos campos genéricos dispostos no mapa conceptual modelo.

Nota$_1$: para os casos onde as associações são genéricas e/ou correspondentes a funções primárias de um modelo de informação, considerou-se preferível não estabelecer o mapa conceptual pois são associações demasiado genéricas e com muitas ramificações, o que dificulta em larga medida uma correcta avaliação da associação.

Nota$_2$: as entidades LicA que nas tabelas apareçam com um (*) referem a casos onde a entidade não se encontra definida como um objecto, mas doutra forma, como por exemplo um sistema binário (verdadeiro ou falso). A criação de um novo objecto IFC poderá não ser necessária dependendo da abordagem de programação utilizada, ficando no entanto aqui registado o processo conceptual de criação.

CORRESPONDÊNCIAS DIRECTAS
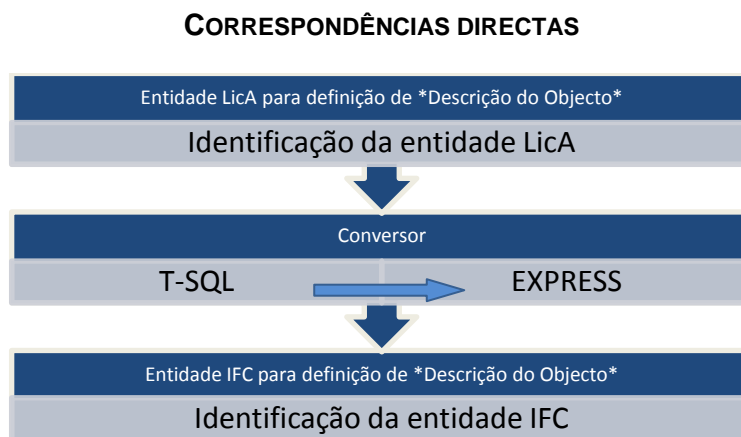
Fig. 39 - Mapa conceptual tipo para associar entidades LicA a entidades IFC, que constituam correspondências do tipo directa

Tabela 19 - Identificação dos parâmetros específicos a introduzir no mapa conceptual tipo, para correspondências do tipo directa

Descrição do Objecto	Identificação da entidade LicA	Identificação da entidade IFC
Lavatório individual	Device_Type_1	Pset_SanitaryTerminalTypeWashHandBasin
Lavatório colectivo (por bica)	Device_Type_2	Pset_SanitaryTerminalTypeWashHandBasin
Bidé	Device_Type_3	Pset_SanitaryTerminalTypeBidet
Banheira	Device_Type_4	Pset_SanitaryTerminalTypeBath
Chuveiro individual	Device_Type_5	Pset_SanitaryTerminalTypeShower
Pia de despejo com torneira de D15 mm	Device_Type_6	Pset_SanitaryTerminalTypeSink
Autoclismo de bacia de retrete	Device_Type_7	Pset_SanitaryTerminalTypeToiletPan
Mictório com torneira individual	Device_Type_8	Pset_SanitaryTerminalTypeUrinal
Pia lava-louça	Device_Type_9	Pset_SanitaryTerminalTypeSink
Bebedouro	Device_Type_10	Pset_SanitaryTerminalTypeSanitaryFountain
Máquina de lavar louça	Device_Type_11	Pset_ElectricApplianceTypeDishwasher
Bacia de retrete com fluxómetro	Device_Type_13	Pset_SanitaryTerminalTypeToiletPan
Mictório com fluxómetro	Device_Type_14	Pset_SanitaryTerminalTypeUrinal; Pset_FlowMeterTypeWaterMeter
Boca de rega ou de lavagem de D15 mm	Device_Type_15	IfcFireSuppressionTerminalType Sprinkler
Boca de rega ou de lavagem de D20 mm	Device_Type_16	IfcFireSuppressionTerminalType Sprinkler
Contador	Device_Type_100	Pset_FlowMeterTypeWaterMeter
Aparelho produtor-acumulador de água quente	Device_Type_101	Pset_BoilerTypeCommon
Purgador de água (terminal de descarga)	Device_Type_102	Pset_WasteTerminalTypeCommon
Caudal	Flow; Q0; Q1	IfcVolumetricFlowRateMeasure
Pressão	Hmin; Hmax	IfcPressureMeasure
Ângulo	Angle *	IfcCompoundPlaneAngleMeasure
Velocidade	V	IfcLinearVelocityMeasure
Comprimento	L	IfcLengthMeasure

Descrição do Objecto	Identificação da entidade LicA	Identificação da entidade IFC
Fluxómetros	FlowMeter *	Pset_FlowMeterTypeWaterMeter
Diâmetro da tubagem	Diameter	Pset_PipeSegmentTypeCommon
Localização (dentro ou fora do edifício)	IsInside	IfcLocalPlacement
Isolamento térmico	IsThermIns	Pset_PipeSegmentTypeCommon
Espaço genérico	Spaces_Type_0	Pset_SpaceCommon
Água Fria	Network_Type_0	Pset_DistributionPortTypeDomesticColdWater
Água Quente	Network_Type_1	Pset_DistributionPortTypeDomesticHotWater
Válvula redutora de pressão	Valve_Type_3	Pset_ValveTypePressureReducingValve
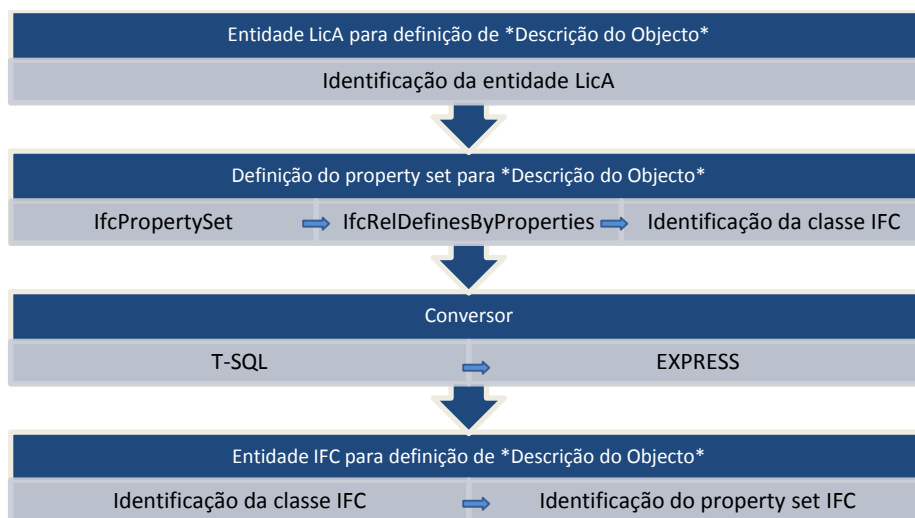
Fig. 40 - Mapa conceptual tipo para associar entidades LicA a entidades IFC, que constituam correspondências do tipo indirecta

Tabela 20 - Identificação dos parâmetros específicos a introduzir no mapa conceptual tipo, para correspondências do tipo indirecta

Descrição do Objecto	Identificação da entidade LicA	Identificação da classe IFC	Identificação do *property set* IFC
Máquina ou tanque de lavar roupa	Device_Type_12	IfcElectricAppliance	Pset_ElectricApplianceTypeClothWasher
Genérico	Materials_Type_0	IfcMaterialDefinition	Ver processo descrito na figura 32
Cobre	Materials_Type_1	IfcMaterialDefinition	Ver processo descrito na figura 32
Aço inoxidável	Materials_Type_2	IfcMaterialDefinition	Ver processo descrito na figura 32
Aço galvanizado	Materials_Type_3	IfcMaterialDefinition	Ver processo descrito na figura *32*
PVC rígido	Materials_Type_4	IfcMaterialDefinition	Ver processo descrito na figura *32*
Ferro fundido	Materials_Type_5	IfcMaterialDefinition	Ver processo descrito na figura *32*
Fibrocimento	Materials_Type_6	IfcMaterialDefinition	Ver processo descrito na figura *32*
Polietileno	Materials_Type_7	IfcMaterialDefinition	Ver processo descrito na figura *32*
Rugosidade do material	Roughness_ID	IfcMaterialDefinition	Ver processo descrito na figura *32*
Rugosidade mínima	e_min	IfcPipeSegment	Pset_PipeSegmentTypeCommon
Rugosidade máxima	e_max	IfcPipeSegment	Pset_PipeSegmentTypeCommon
Rugosidade mínima	e_min	IfcPipeSegment	Pset_PipeSegmentTypeCommon
Rugosidade máxima	e_max	IfcPipeSegment	Pset_PipeSegmentTypeCommon
Altura de elevação	H	IfcPump	Pset_PumpTypeCommon
Sala de Estar	Spaces_Type_1	IfcSpace	Pset_SpaceLivingRoom
Sala de Jantar	Spaces_Type_2	IfcSpace	Pset_SpaceDinnerRoom
Quarto	Spaces_Type_3	IfcSpace	Pset_SpaceBedRoom

Descrição do Objecto	Identificação da entidade LicA	Identificação da classe IFC	Identificação do *property set* IFC
Quarto de Banho	Spaces_Type_4	IfcSpace	Pset_SpaceBathRoom
Cozinha	Spaces_Type_5	IfcSpace	Pset_SpaceKitchen
Circulações	Spaces_Type_6	IfcSpace	Pset_SpaceCorridor
Garagem	Spaces_Type_7	IfcSpace	Pset_SpaceGarage
Exterior	Spaces_Type_8	IfcSpace	Pset_SpaceOutside
Válvula de seccionamento	Valve_Type_0	IfcValveType	Pset_ValveTypeSectioningValve
Válvula de retenção	Valve_Type_1	IfcValveType	Pset_ValveTypeHoldingValve
Válvula de segurança	Valve_Type_2	IfcValveType	Pset_ValveTypeSecurityValve
Válvula de regulação	Valve_Type_4	IfcValveType	Pset_ValveTypeRegulationValve
Parâmetro de funcionamento da válvula	Setting	IfcValveType	Pset_ValveTypeCommon

CORRESPONDÊNCIAS INDETERMINADAS
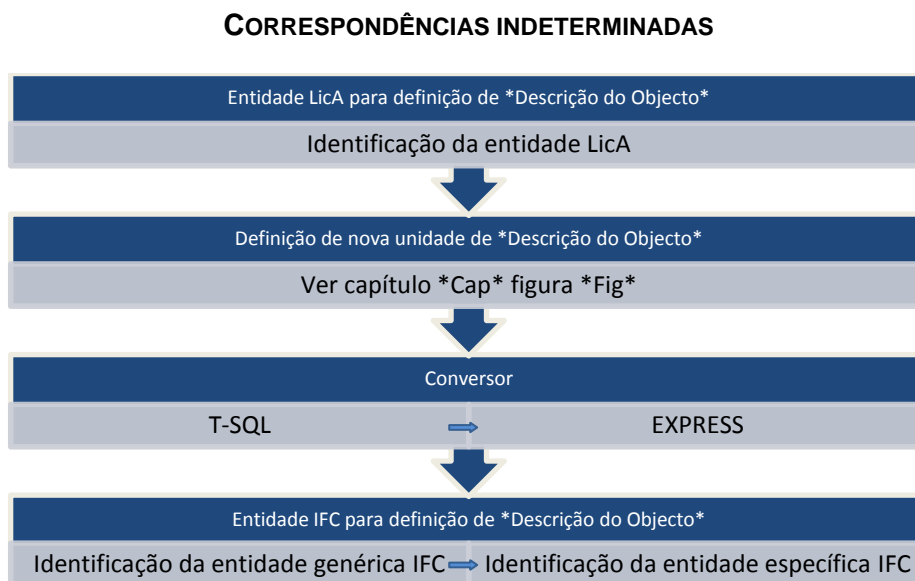
Fig. 41 - Mapa conceptual tipo para associar entidades LicA a entidades IFC, que constituam correspondências do tipo indeterminada

Tabela 21 - Identificação dos parâmetros específicos a introduzir no mapa conceptual tipo, para correspondências do tipo indeterminada

Descrição do Objecto	Identificação da entidade LicA	Cap	Fig	Identificação da entidade genérica IFC	Identificação da entidade específica IFC
Caudal mínimo regulamentar	Min_Reg_Flow	5.5.2.4	35	IfcNamedUnit	IfcUnitEnum
Factor de tolerância	VAL	5.5.2.4	34	IfcNamedUnit	IfcContextDependentUnit
Nº de fluxómetros	C0	5.5.2.4	34	IfcNamedUnit	IfcContextDependentUnit
URC	URC *	5.5.2.4	34	IfcNamedUnit	IfcContextDependentUnit